バックエンド週末基礎講座
2012年（平成24年）11月17日

放射性廃棄物処分の基本的考え方と課題

- 放射性廃棄物の発生とその性状、放射線の健康影響
- 低レベル廃棄物の浅地中処分、余裕深度処分
- 高レベル廃棄物、ＴＲＵ廃棄物の地層処分
- 放射性廃棄物の処分の社会における実施における課題

（公財）原子力安全研究協会
放射線・廃棄物安全研究所
杤山　修

バックエンド週末基礎講座
2012年（平成24年）11月17日

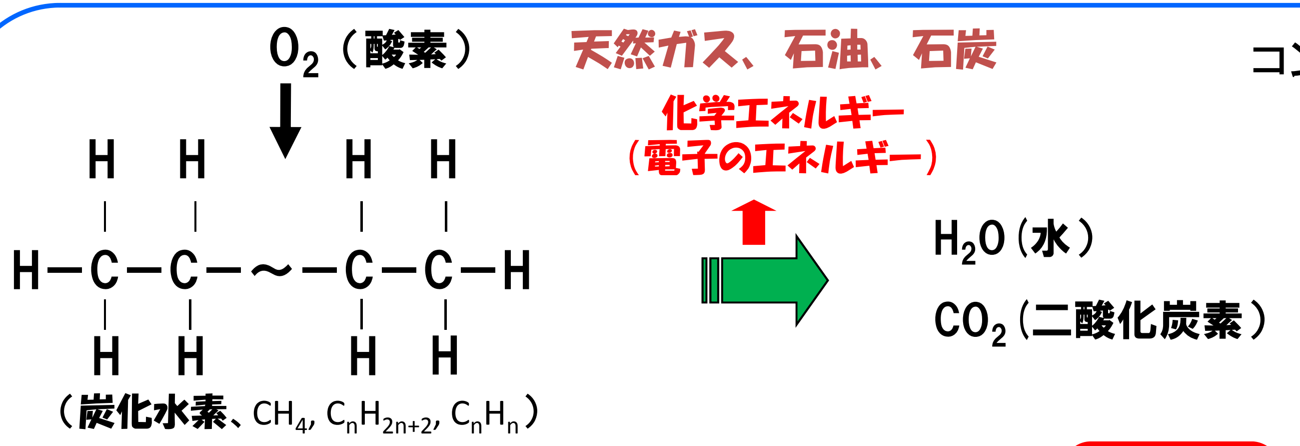
放射性廃棄物処分の基本的考え方と課題

- 放射性廃棄物の発生とその性状、放射線の健康影響
- 低レベル廃棄物の浅地中処分、余裕深度処分
- 高レベル廃棄物、ＴＲＵ廃棄物の地層処分
- 放射性廃棄物の処分の社会における実施における課題

（公財）原子力安全研究協会
放射線・廃棄物安全研究所
杤山　修

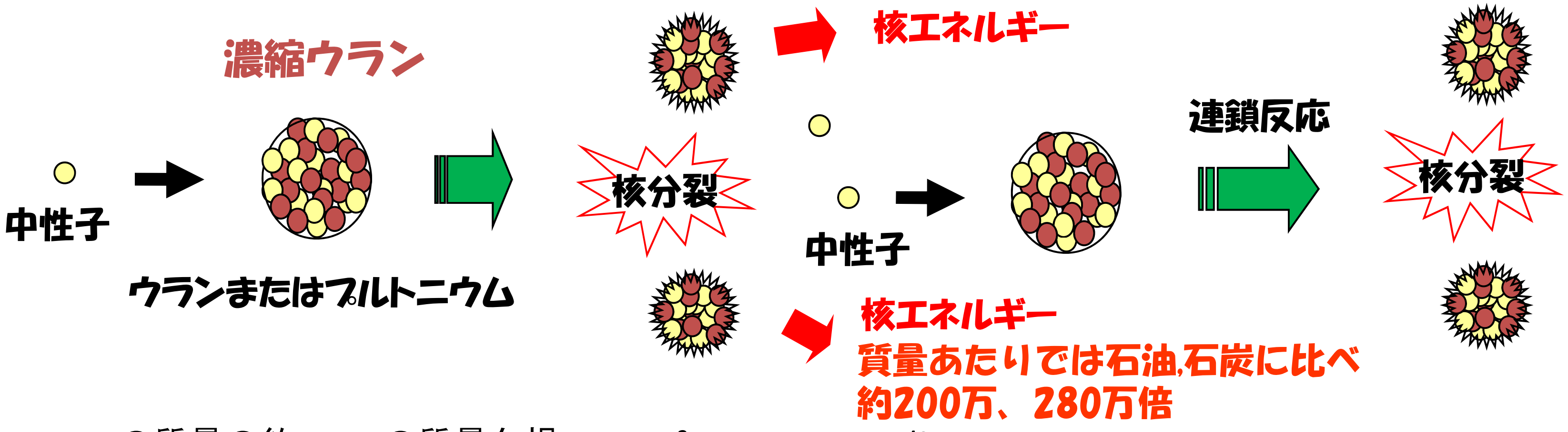
化学反応、核反応（核分裂）によるエネルギーの発生

コントロールしやすい



cf.：石油1 kg の燃焼：TOE(Ton of Oil Equivalent)/1000 = 41.83 MJ
石炭1 kgの燃焼：TCE(Ton of Coal Equivalent)/1000 = 29.3 MJ
天然ガス 1 m^3 (= 0.925 kg) の燃焼 = 40.9 MJ

膨大なエネルギーが得られるがコントロールしにくい　　放射能を持つ



U-235 の質量の約0.1 % の質量欠損 ⇒ $E = c^2\Delta m \approx 200$ MeV/fission

(ウラン1 kg が核分裂すると 82 × 10^6 MJ = 0.95 GWd)

1 kgの核分裂 ≈ 1 GWd のエネルギー

放射性廃棄物は既に発生して存在している

四国電力　伊方発電所

ガラス固化体にして約
21,000本

事業所等		貯蔵量（t）	使用済燃料の種類
日本原子力発電（株）	東海第二発電所	370	
	敦賀発電所	580	
北海道電力（株）	泊発電所	370	
東北電力（株）	東通原子力発電所	60	
	女川原子力発電所	420	
東京電力（株）	福島第一原子力発電所	1,860	
	福島第二原子力発電所	1,120	
	柏崎刈羽原子力発電所	2,270	
中部電力（株）	浜岡原子力発電所	1,140	ウラン酸化物燃料集合体
北陸電力（株）	志賀原子力発電所	120	
関西電力（株）	美浜発電所	370	
	大飯発電所	1,370	
	高浜発電所	1,200	
中国電力（株）	島根原子力発電所	390	
四国電力（株）	伊方発電所	560	
九州電力（株）	玄海原子力発電所	840	
	川内原子力発電所	850	
（独）日本原子力研究開発機構	原子炉廃止措置研究開発センター	70	ウラン酸化物燃料集合体、混合酸化物燃料集合体
	高速増殖炉研究開発センター	0	
	東海研究開発センター一核燃料サイクル工学研究所再処理施設	41	ウラン酸化物燃料集合体、混合酸化物燃料集合体
	東海研究開発センター一原子力科学研究所	18	ウラン酸化物燃料集合体
	大洗研究開発センター	16	ウラン酸化物燃料集合体、混合酸化物燃料集合体
日本原燃（株）	再処理事業所再処理施設	2,834	ウラン酸化物燃料集合体
合計		16,869	

2011年3月末現在（使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約、日本国第4回報告書（H23.10）

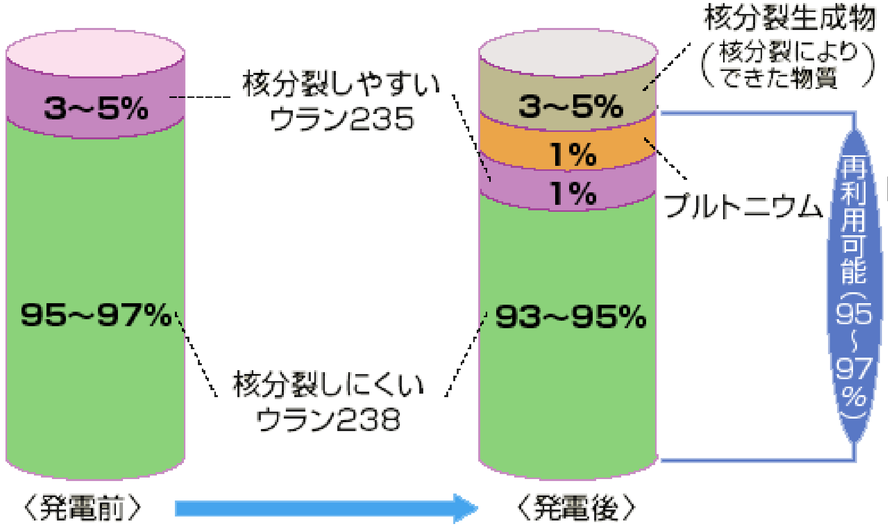
ガラス固化体（固体になって閉じ込められている）の危険性

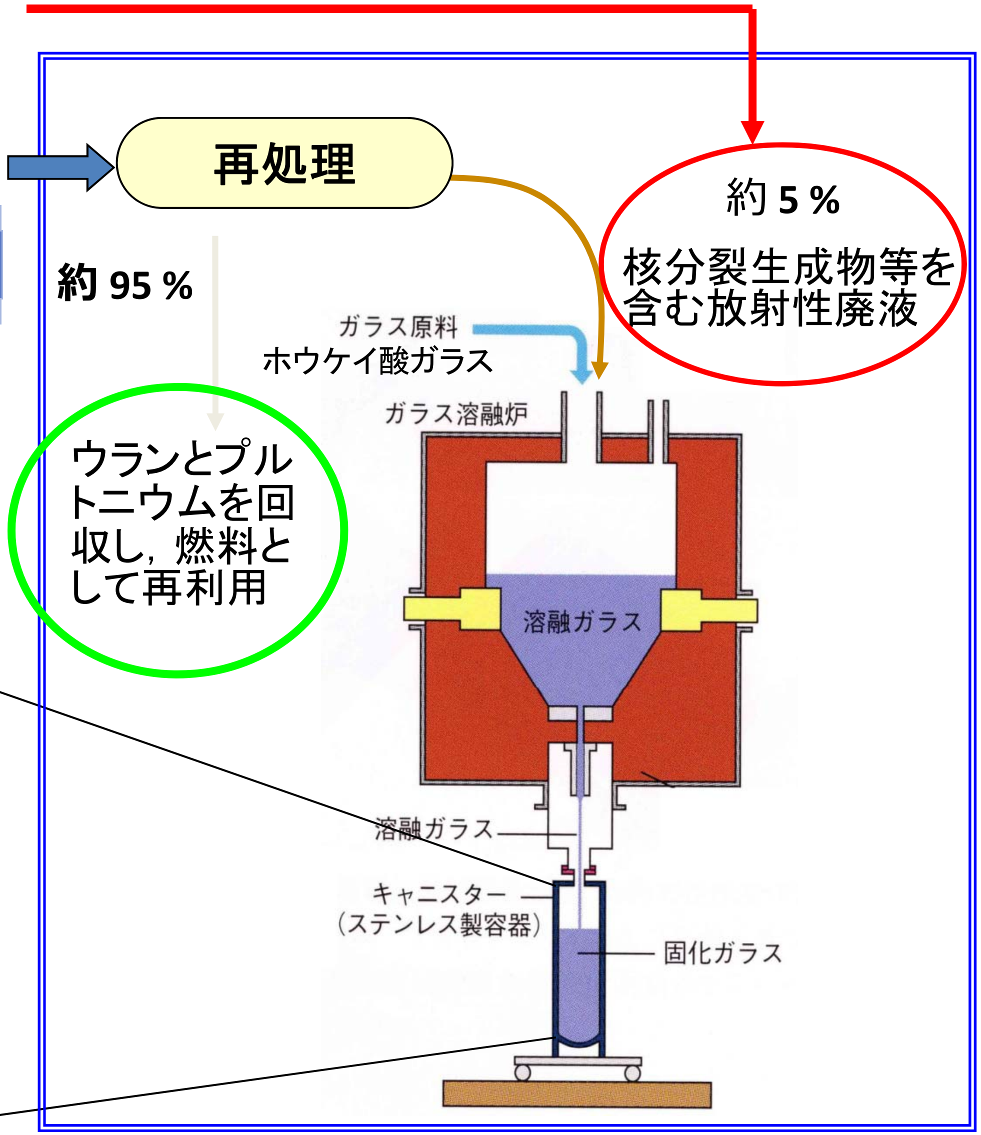
含まれている放射能は膨大で、ガラス固化体を自然現象または人の行為により破壊され、何らかの力（自然現象、人の行為）で環境に飛散させられれば、放射線影響により環境や公衆に危険を与える。

⇩

長期にわたり外的擾乱事象に対して抵抗力のある（隔離・閉じ込めができる）処分方法が必要

高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）
実際に燃えて（核分裂して）灰になるのは約５％





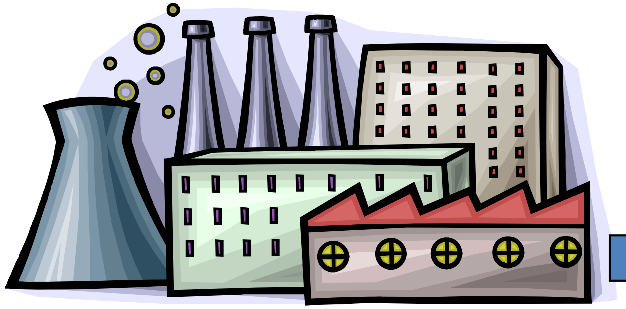
ガラス固化体
- 高さ：約 1.3 m
- 外径：約 40 cm
- 重さ：約 500 kg
- ガラス容積：約150ℓ
- 放射性物質：約40 kg

固化時
表面線量：約1,500 Sv/h
放射能：約2 × 10^{16} Bq
発熱量：約2 kW

100万kWの発電所（100万人の電力）を1年間運転するときの廃棄物

石炭　　　（220万トン）
石油　　　（140万トン）
天然ガス（ 93万トン）

濃縮ウラン（21 トン）



100万kWの発電所
（100万人の電力）

火力発電

原子力発電

1年間運転すると

温暖化！

CO_2
400～500万トン
（1人 4～5 トン）

重金属等を含む灰
数10万トン

高レベル廃棄物
約15 トン
（1人15 グラム）

低レベル廃棄物
約 1500 トン

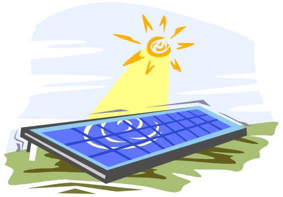
量が少ないのでコントロールしやすい

エネルギー資源(入手)

自然

(100万KWの発電をするのに必要な面積)

太陽光



67 km²
(1人20坪)

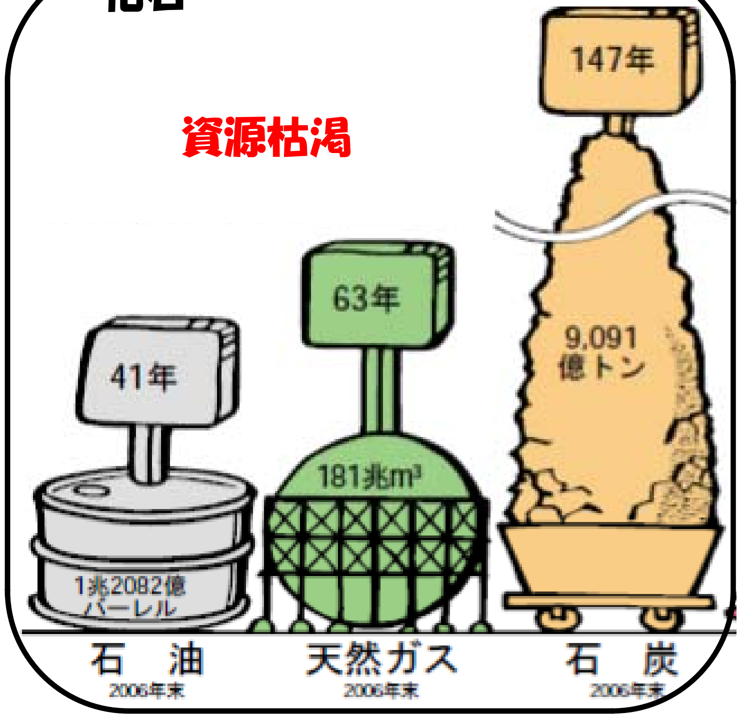
風力

248 km²
(1人75坪)

2010年導入目標3%
(基幹エネルギーにできない)

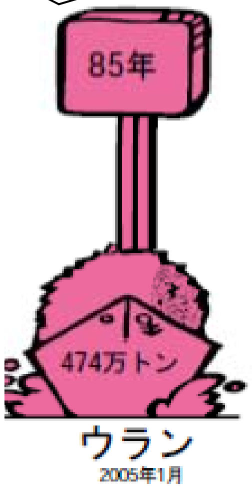
化石

資源枯渇



原子力

高速増殖炉でPuを使えば約 2570 年



100万KWの発電所(100万人の電力)を1年間運転するときの廃棄物(廃棄)

化石

温暖化

CO_2
400～500万トン
(1人 4～5 トン)

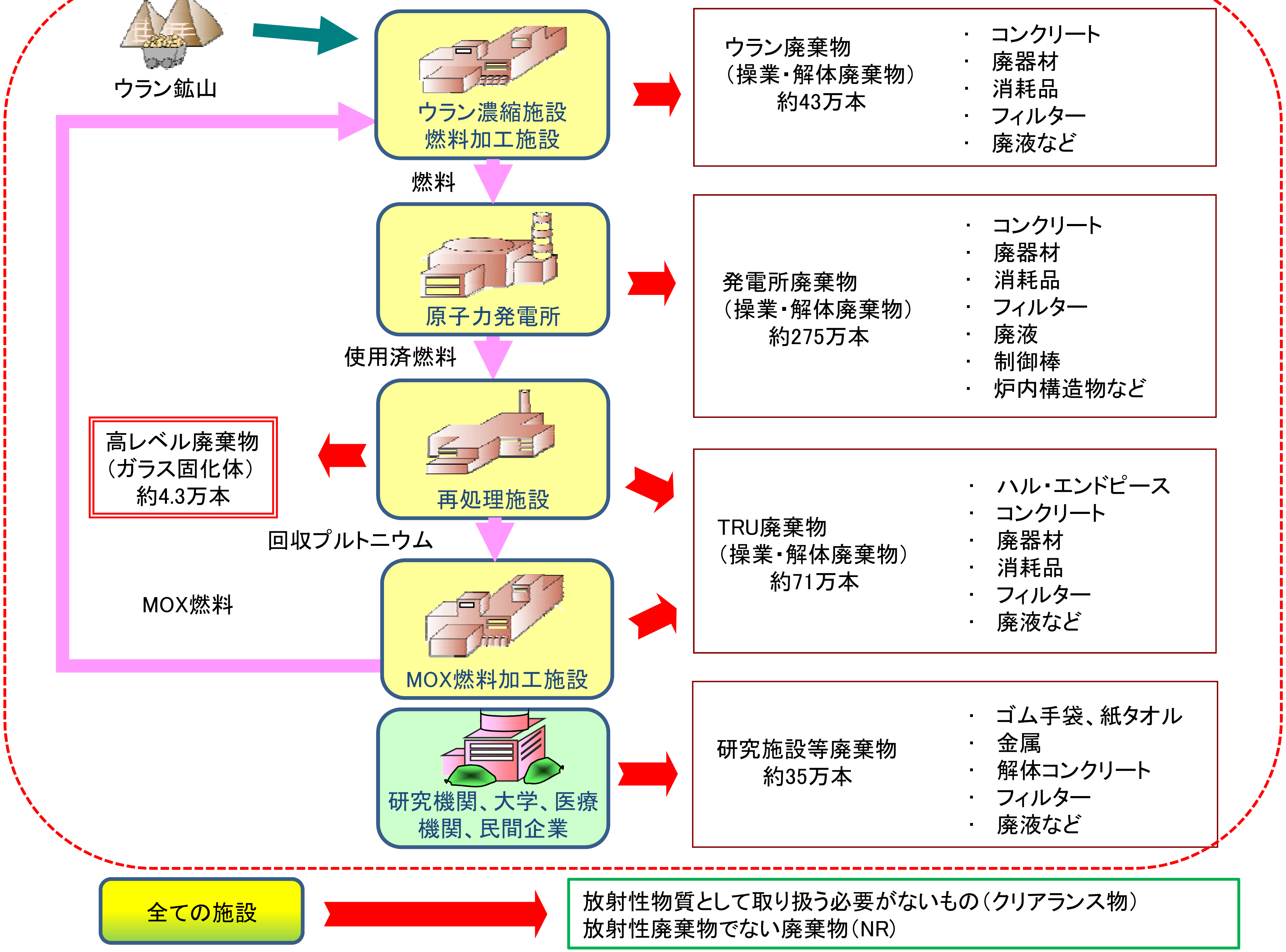
重金属等を含む灰
数10万トン

原子力

高レベル廃棄物
約15トン
(1人15 グラム)

低レベル廃棄物
約 1500 トン

放射性廃棄物



ウラン鉱山
ウラン濃縮施設
燃料加工施設
燃料
原子力発電所
使用済燃料
再処理施設
回収プルトニウム
MOX燃料加工施設
MOX燃料
高レベル廃棄物
（ガラス固化体）
約4.3万本
研究機関、大学、医療機関、民間企業
ウラン廃棄物
（操業・解体廃棄物）
約43万本
・ コンクリート
・ 廃器材
・ 消耗品
・ フィルター
・ 廃液など
発電所廃棄物
（操業・解体廃棄物）
約275万本
・ コンクリート
・ 廃器材
・ 消耗品
・ フィルター
・ 廃液
・ 制御棒
・ 炉内構造物など
TRU廃棄物
（操業・解体廃棄物）
約71万本
・ ハル・エンドピース
・ コンクリート
・ 廃器材
・ 消耗品
・ フィルター
・ 廃液など
研究施設等廃棄物
約35万本
・ ゴム手袋、紙タオル
・ 金属
・ 解体コンクリート
・ フィルター
・ 廃液など
全ての施設
放射性物質として取り扱う必要がないもの（クリアランス物）
放射性廃棄物でない廃棄物（NR）

放射性廃棄物の区分と2048年頃までの発生量

<table>
<tr><th colspan="3">廃棄物の種類</th><th>廃棄物の例</th><th>発生源</th><th>廃棄物量</th></tr>
<tr><td colspan="3">高レベル廃棄物</td><td>ガラス固化体</td><td>再処理施設</td><td>約 4.3 万本*1</td></tr>
<tr><td rowspan="6">低レベル放射性廃棄物</td><td colspan="2">TRU廃棄物</td><td>ハル、エンドピース、ヨウ素吸着フィルター、廃液</td><td>再処理施設、MOX燃料加工施設</td><td>約 71 万本
（約 14 万m^3)</td></tr>
<tr><td colspan="2">ウラン廃棄物</td><td>消耗品、スラッジ、廃器材</td><td>ウラン濃縮、燃料加工施設</td><td>約 43 万本
（約 8.5 万m^3)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">発電所廃棄物</td><td>高</td><td>制御棒、炉内構造物</td><td rowspan="3">原子力発電所</td><td rowspan="3">約 275 万本*2
（約 55 万m^3)</td></tr>
<tr><td>低</td><td>廃液、フィルター、廃器材等を固形化</td></tr>
<tr><td>極低</td><td>コンクリート、金属</td></tr>
<tr><td colspan="2">研究施設等廃棄物</td><td>実験、医用廃棄物</td><td>RI利用施設、研究所</td><td>約 35 万本
（約 7 万m^3)</td></tr>
<tr><td colspan="3">クリアランスレベル以下の廃棄物</td><td>解体廃棄物の大部分</td><td>上記全て</td><td></td></tr>
</table>

*1 海外返還分約 2200 本を含む、*2 海外返還分約 6.3 万本（約 1.3 万m^3)を含む

（新計画策定会議（第19回）資料第2号「放射性廃棄物処理処分について」より）

汚染により発生すると想定される廃棄物の量

発電所サイト内

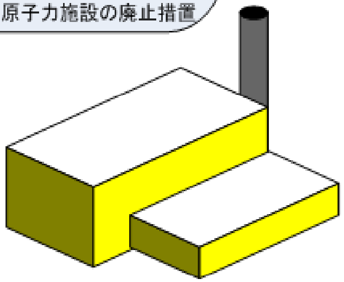
通常の廃止措置で発生する廃棄物の量
（110万kW級BWRの場合）

- ・低レベル放射性廃棄物
  約2%以下（約1.3万トン）
- ・放射性廃棄物として扱う必要のない廃棄物
  約5%（約2.8万トン）
- ・放射性廃棄物でない廃棄物
  93%（約49.5万トン）

出典　原子力安全・保安院　原子力施設の廃止措置

放射性廃棄物として扱う必要のない廃棄物および放射性廃棄物でない廃棄物は、産業廃棄物として扱われ、再利用が可能であったが、事故により汚染

サイト内で大量の放射性廃棄物の発生



発電所サイト外

・汚染土壌

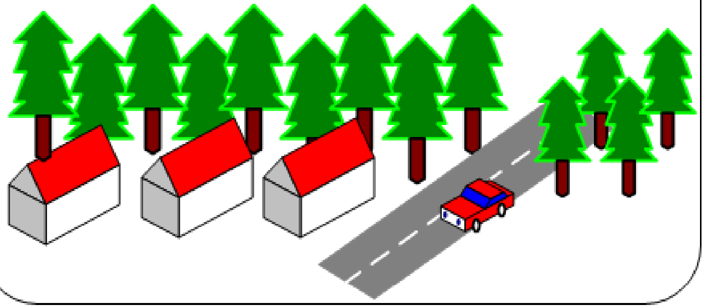
例えば5mSv/y以上を面的除染(森林含む)し、1-5 mSv/yをスポット除染(森林除く)すると、2900万m³（東京ドーム23杯分）となる。（環境省環境回復検討会第2回資料7 (H23.9.27)）

・がれき（約290万トン）（2011.6.14 環境省）

・災害廃棄物

都市ごみ焼却灰、下水汚泥、稲わら、がれき等）：数十万m³

サイト外で大量の放射性廃棄物の発生

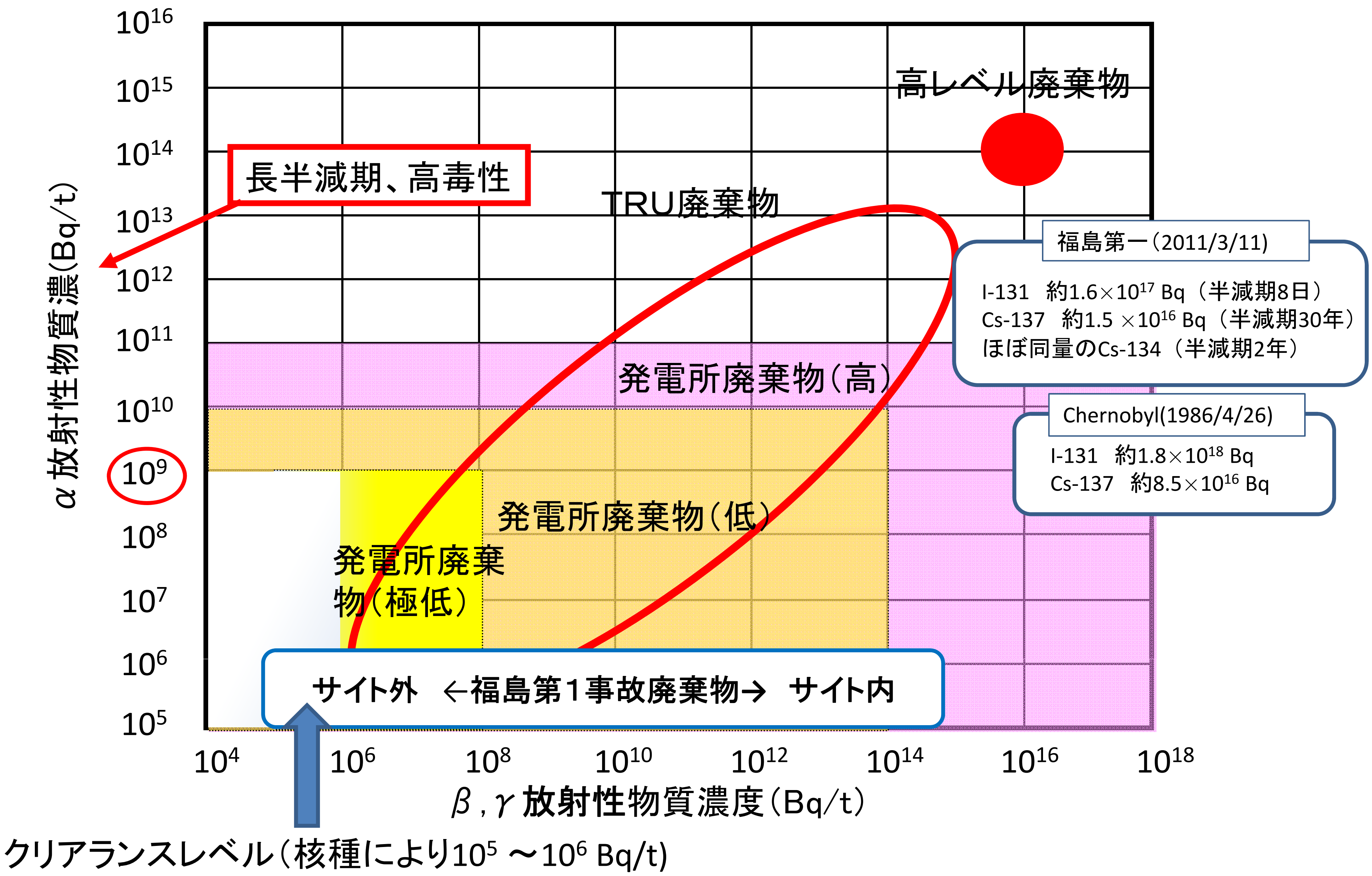


2048年頃までの放射性廃棄物の発生量として、高レベル放射性廃棄物：4.3万本、TRU廃棄物：約71万本（約14万m³）、ウラン廃棄物：約43万本（約8.5万m³）、発電所廃棄物（高、低、極低）：約275万本（約55万m³）、研究施設等廃棄物：約35万本（約7万m³）が想定されている。

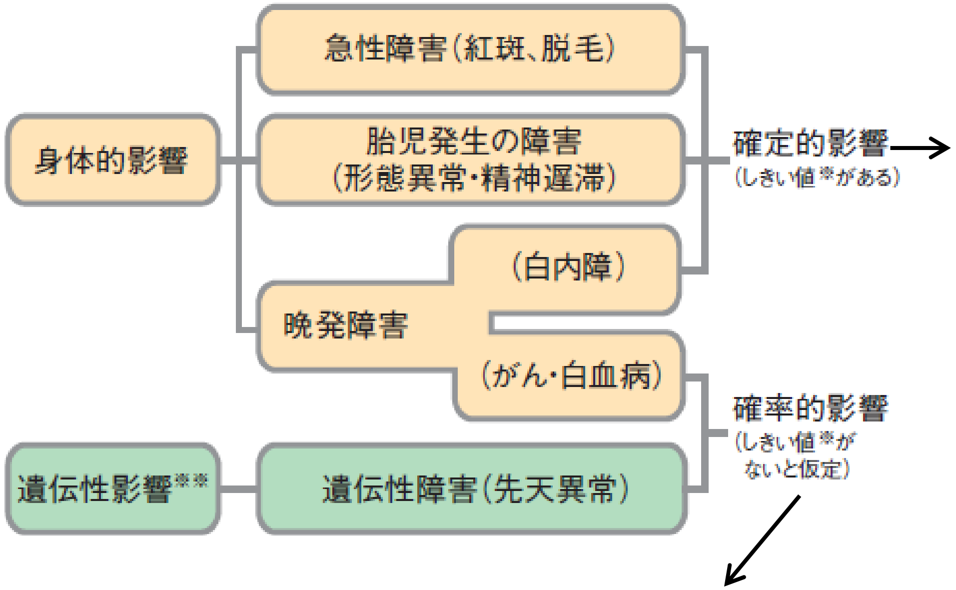
出典　新計画策定会議（第19回）資料第2号「放射性廃棄物処理処分について」より

平常時の数十年分を超える量の放射性廃棄物、汚染物が発生

種々の放射性廃棄物の放射能濃度
（ほとんどが希釈拡散で安全になるレベルではない）



放射線の被ばくによる健康影響



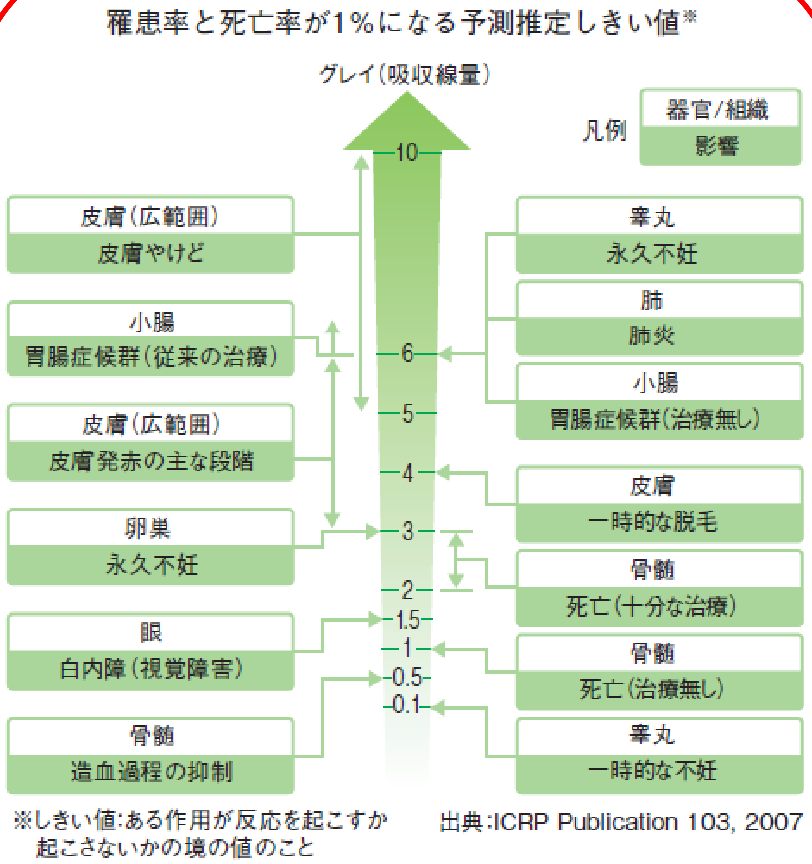
疫学調査では100−200 mSv以上では線量に比例してがんのリスクが増大しているがこれ以下ではしきい値があるかどうかわからない

↓

防護のためのLNT（しきい線量なし直線仮説）

致死がんリスク＝0.055×線量(Sv)(ICRP2007)

確率的影響：100 mSvの被ばくを受けると将来がんで死ぬ確率が0.5％増加するとして防護する（男性おおよそ4人に1人、女性ではおおよそ6人に1人ががんで死亡するのに対して）



確定的影響が現れるのは0.1 グレイ以上の大量の放射線を受けた時

放射線の国際基準

ICRP（国際放射線防護委員会）Pub.103 (2007) の防護基準（勧告）

被ばくをもたらす状況		めやすとなる線量
緊急時	事故等により混乱しているとき	事故による急性または年あたりの被ばくを20～100ミリシーベルトになるよう抑える
事故後の復旧時	事故の後など既に被ばくをもたらす放射線源があるとき	急性または年あたりの被ばくを1～20ミリシーベルトになるよう抑える
平常時	原子力、放射線の利用で住民に被ばくを与えるかもしれない事業を計画するとき	公衆は年間1ミリシーベルト、作業従事者は5年で100ミリシーベルトを超えず（**線量限度**）、出来る限り被ばくが低くなるようにする（目標）

その行為が社会に導入されて、全体として便益＞リスクとなるとしても、一部の人が不当に高いリスクを被るべきではない

事業の設計施工と操業時の管理により、環境に放出される放射性物質を抑制し、公衆の被ばくをできる限り低減する

状況に応じて避難、食品流通管理、環境回復などにより被ばくを低減する

クリアランス、規制免除、規制除外

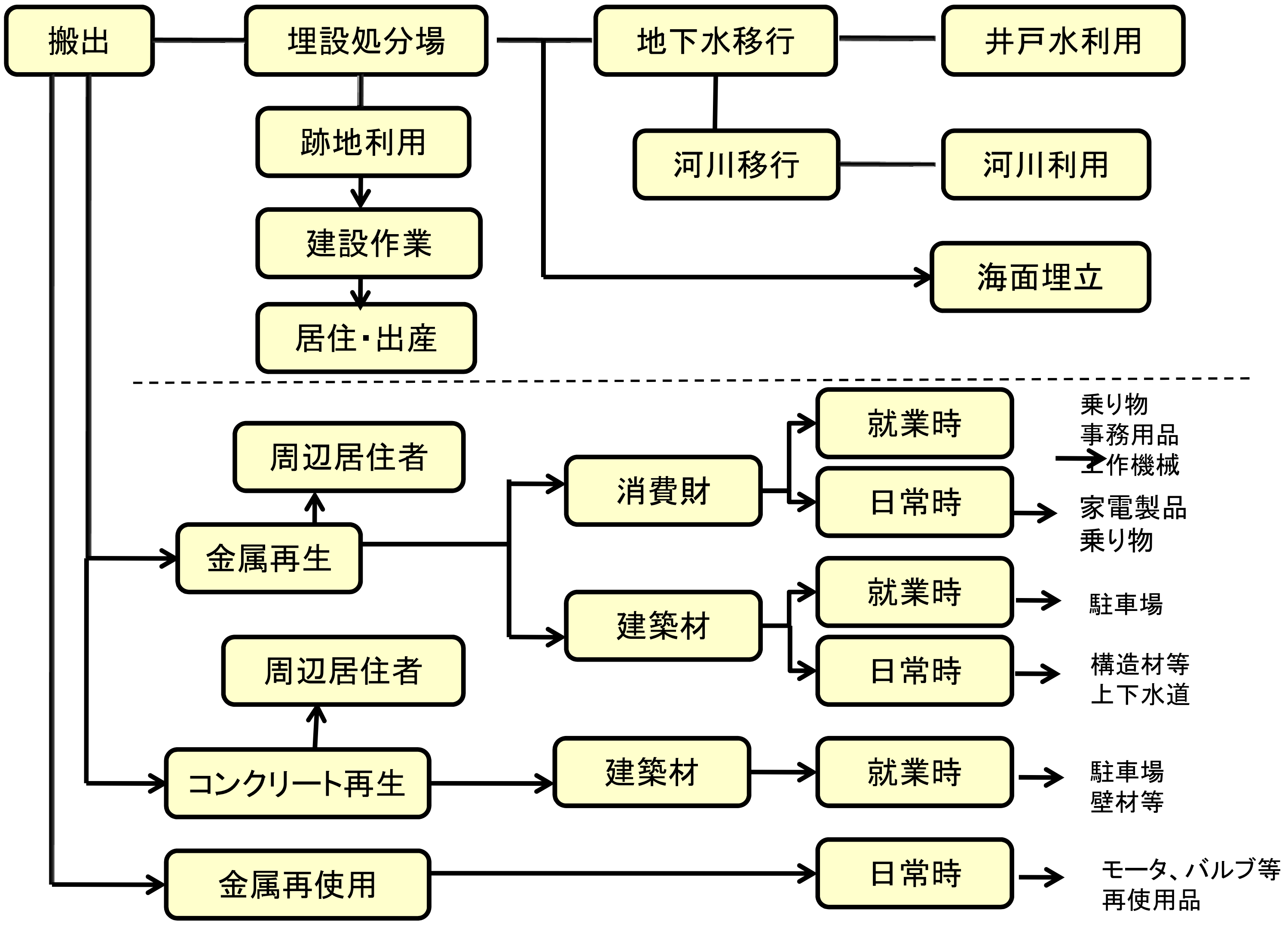
IAEA安全指針RS-G-1.7:「規制除外、規制免除及びクリアランス概念の適用」

① **クリアランス(clearance)**
ある放射線源に起因する人の健康に対するリスクが無視できるほど小さいことから、放射性物質として扱う必要がなく、よって、当該放射線源を放射線防護に係る規制体系から外しても良いこと(一旦規制の枠組みに入った放射性物質であっても、放射性核種の濃度が低いものは、規制当局の判断によりその規制体系から外しても良い。原子力施設等における比較的多量の廃棄物及び再使用・再生利用可能なもの)。
クリアランスレベル:クリアランスの判断基準となる放射性核種の濃度

② **規制免除(exemption)**
ある放射線源に起因する人の健康に対するリスクが無視できるほど小さいことから、放射性物質として扱う必要がなく、よって、当該放射線源を放射線防護に係る規制体系に入れないこと(研究用トレーサ、校正線源等の少量のもの、ごくわずかの放射性核種を含む消費財のような低濃度のもの)。
規制免除レベル:規制免除の判断基準となる放射性核種の数量および濃度

③ **規制除外(exclusion)**
自然界に存在するほとんどの放射線源のように、規制ができないか、または、規制をしても効果がほとんどないような放射線源について、そもそも規制の対象としないこと(宇宙線や天然に存在する放射性物質(土壌、空気中に含まれるウラン、ラドン及び体内のカリウム40等)。

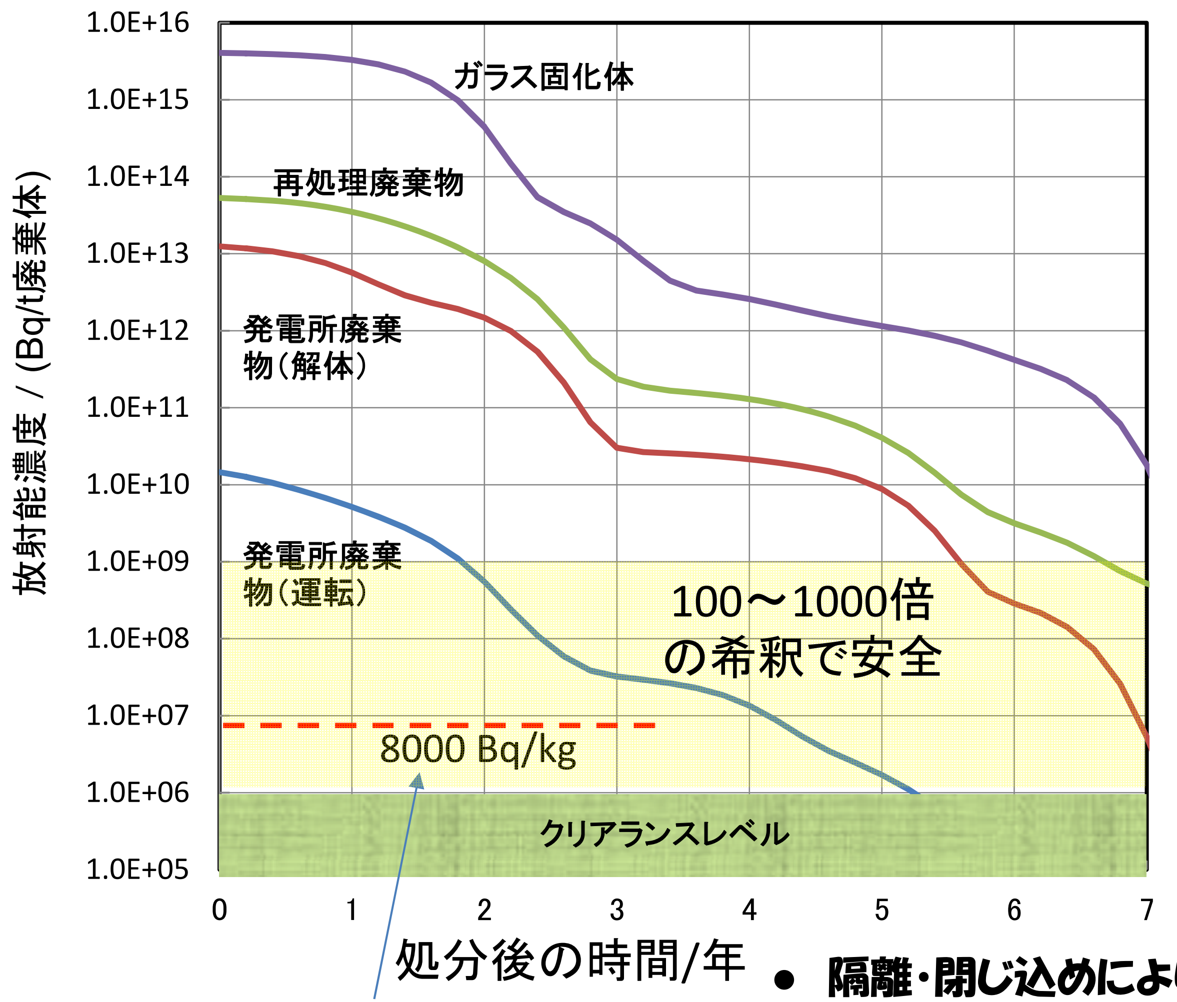
クリアランスレベルに係る評価シナリオ（埋設処分、再利用）



それらの物質が社会に再循環されても、予想される被ばくが10μSv/yを超えない濃度とする

こういう物質を再循環する行為が社会的行為として一般的になっても大丈夫なように。

各種放射性廃棄物の放射能濃度とクリアランスレベル



汚泥・焼却灰の扱い：こういう濃度の物質を扱う作業をすると年間被ばくが 1 mSv を超える

核種	半減期(年)	クリアランスレベル (Bq/ton)
Co-60	5.3	10^5
Cs-137	30	10^5
Sr-90	29	10^6
Ni-63	100	10^8
C-14	5700	10^6
Tc-99	2.1×10^5	10^6
Cl-36	3.0×10^5	10^6
I-129	1.6×10^7	10^4
α核種	—	10^5

- **隔離・閉じ込めにより生活環境に入らないようにする。**
- **放射性廃棄物の放射能濃度は時間とともにある程度減少する ⇒ 自然に起こる希釈拡散で安全なレベルになるものがある**

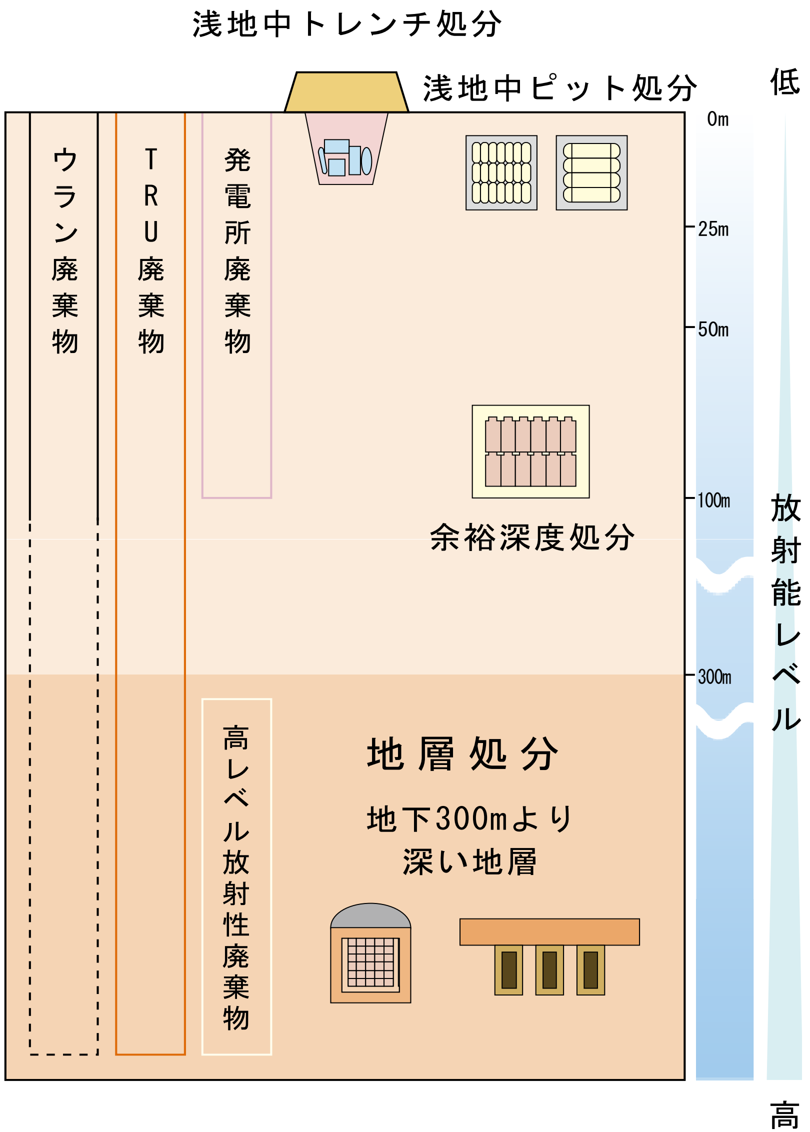
バックエンド週末基礎講座
2012年（平成24年）11月17日

放射性廃棄物処分の基本的考え方と課題

- 放射性廃棄物の発生とその性状、放射線の健康影響
- **低レベル廃棄物の浅地中処分、余裕深度処分**
- 高レベル廃棄物、ＴＲＵ廃棄物の地層処分
- 放射性廃棄物の処分の社会における実施における課題

（公財）原子力安全研究協会
放射線・廃棄物安全研究所
杤山　修

放射性廃棄物処分の基本方針
①隔離（isolation）＋ ② 閉じ込め（containment）



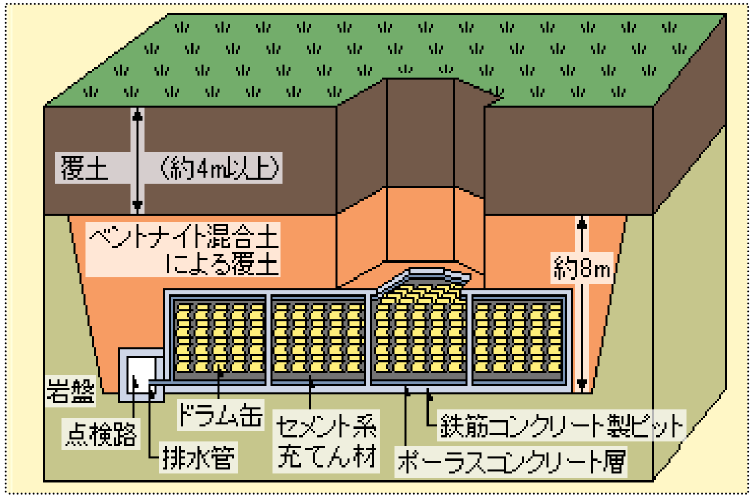
隔離（IAEA No.SSR-5、要件9）

- 浅地中施設の隔離は、処分施設の位置と設計によって、および操業上の管理と制度的管理によってもたらされなければならない。
- 放射性廃棄物の地層処分に対して、隔離は、処分の深度の結果として主に母岩となる地層（host geological formation）によってもたらされることになる。

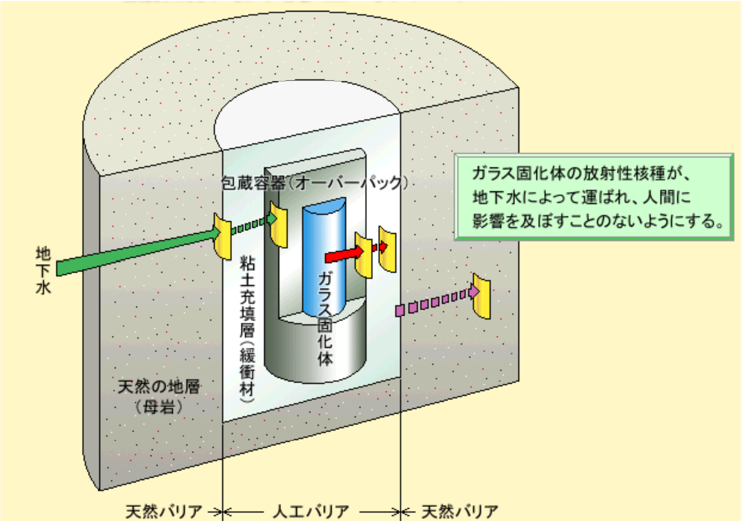
IAEA Safety Standard Series No. SSR-5, Disposal of Radioactive Waste (2011)
SSR = Specific Safety Reuirements 個別安全要件

放射性廃棄物処分の基本方針
①隔離（isolation） + ② 閉じ込め（containment）

浅地中ピット処分



地層処分

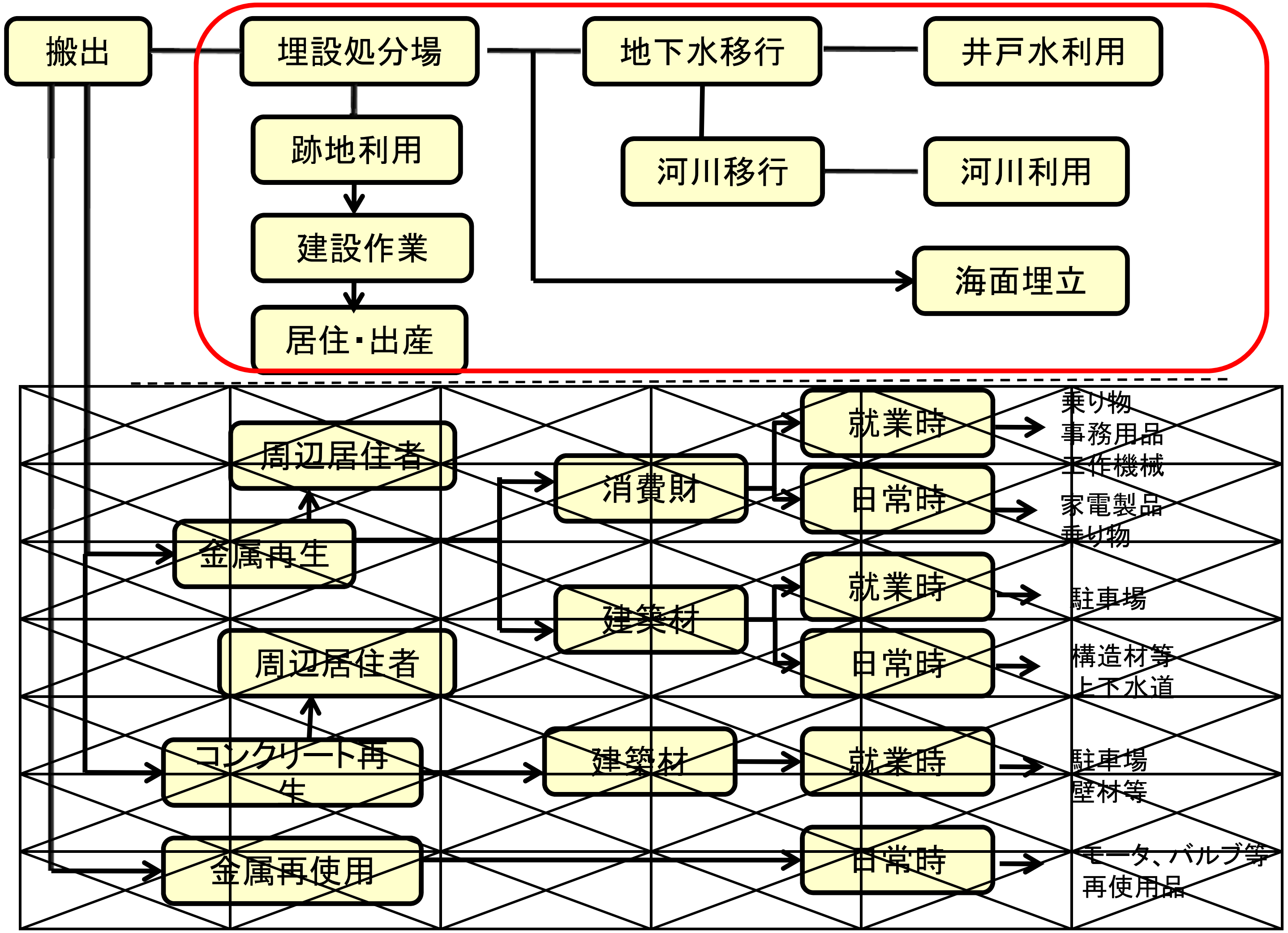


閉じ込め（IAEA No.SSR-5、要件８）

放射性核種を定められた期間にわたり廃棄体およびパッケージングに閉じ込め、比較的短寿命の放射性核種の大部分が原位置で減衰することを確保しなければならない。低レベル廃棄物の場合、そのような期間は数百年程度（several hundred years）、高レベル廃棄物の場合は数千年程度（several thousands of years）になるだろう。高レベル廃棄物の場合は、処分システムの外部への放射性核種のいかなる移行も、放射性崩壊により発生した熱が実質的に減少した後にのみ生じるということも確保されなければならない。

~~クリアランスレベルに係る評価シナリオ（埋設処分、再利用）~~

浅地中埋設に係る管理期間終了のための評価シナリオ



管理期間終了時に漏出で地下水が汚染されても、埋設跡地が社会で再利用されても、予想される被ばくが10μSv/yを超えない 状態ならOK

処分に係る放射能濃度上限値＊とクリアランスレベル

低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について（安全委員会、2007.5）
原子炉施設及び核燃料施設の解体に伴って発生するもののうち放射性物質として取り扱う必要のないものの放射能濃度について（安全委員会、2004.12）

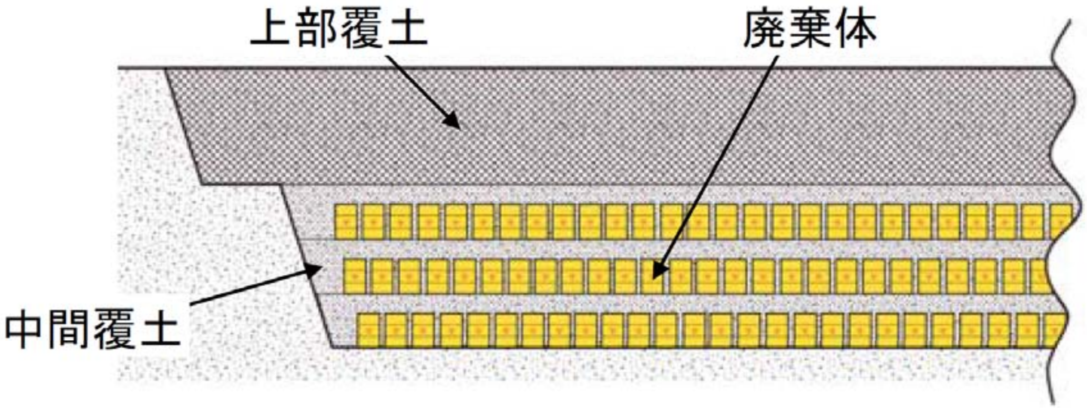
*1 Co-60 に対する相対濃度からの推定値
*2 Cs-137に対する相対濃度からの推定値

核種	半減期（年）	クリアランスレベル (Bq/ton)	濃度上限値（Ｂｑ／ton）				
			トレンチ処分	区分値充足性の評価値	ピット処分	区分値充足性の評価値	余裕深度処分
Co-60	5.3	10^5	10^{10}		10^{15}		―
Cs-137	30	10^5	10^8		10^{14}		―
Sr-90	29	10^6	10^7		10^{13}		―
Ni-63	100	10^8	―		10^{13}		―
C-14	5700	10^6	―	10^{10} *1	10^{11}		10^{16}
Tc-99	2.1×10^5	10^6	―	10^5~10^6 *1 10^4~10^5 *2	10^9		10^{14}
Cl-36	3.0×10^5	10^6	―	10^7~10^8 *1	―	10^{11} *1	10^{13}
I-129	1.6×10^7	10^4	―	10^4 *2	―	10^{10} *2	10^{12}
α核種	―	10^5	―	10^9 *2	10^{10}		10^{11}

* 埋設事業の許可申請を行うことができる廃棄物中の核種濃度の最大値(Bq/t)
ただし許可は安全審査によって安全性が見極められ可否が判断される。

トレンチ型の埋設の方法
（原子力科学研究所JPDR埋設施設の事例）

約50年見張る（サーベイランスとモニタリング）

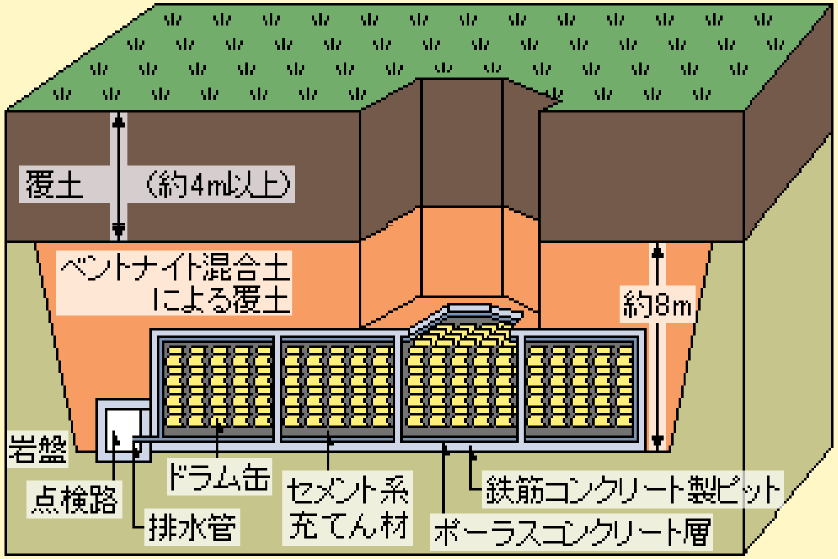


独立行政法人日本原子力研究開発機構**埋設事業推進センター**

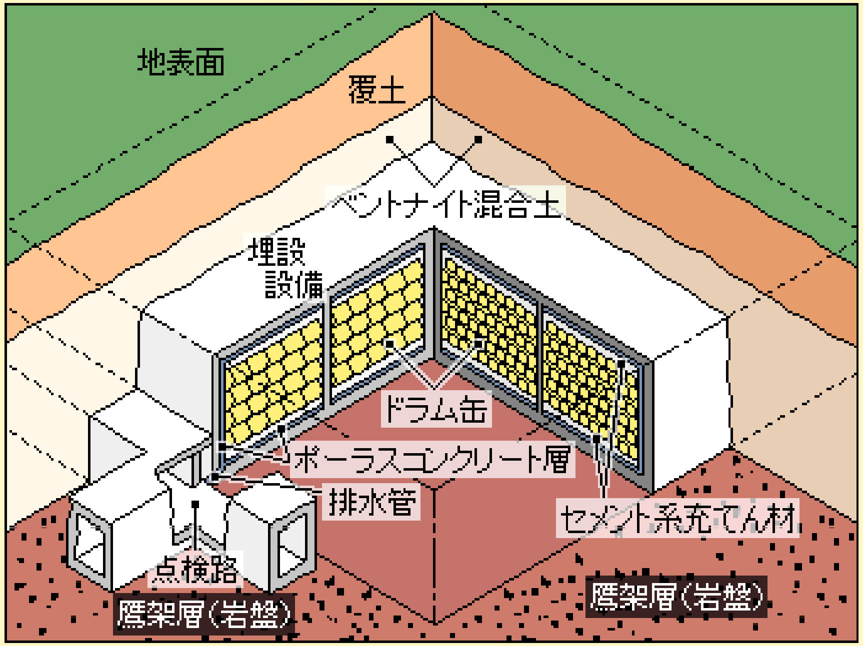
低レベル廃棄物浅地中処分システム（ピット処分）

段階的管理

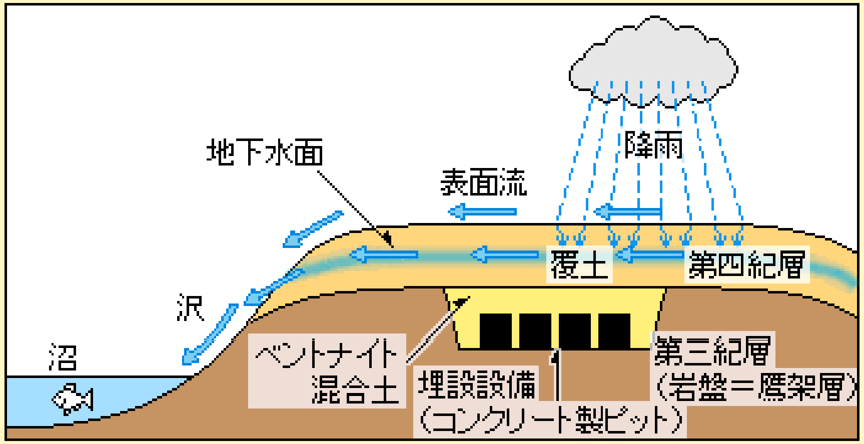
1）人工構築物の積極的な補修を行う段階
2）漏出状況を監視する段階
3）埋設地の掘削を制限する段階
管理が必要な期間：300～400年が一つの目安
管理期間終了後は、一般的な土地利用が可能



埋設施設の構造

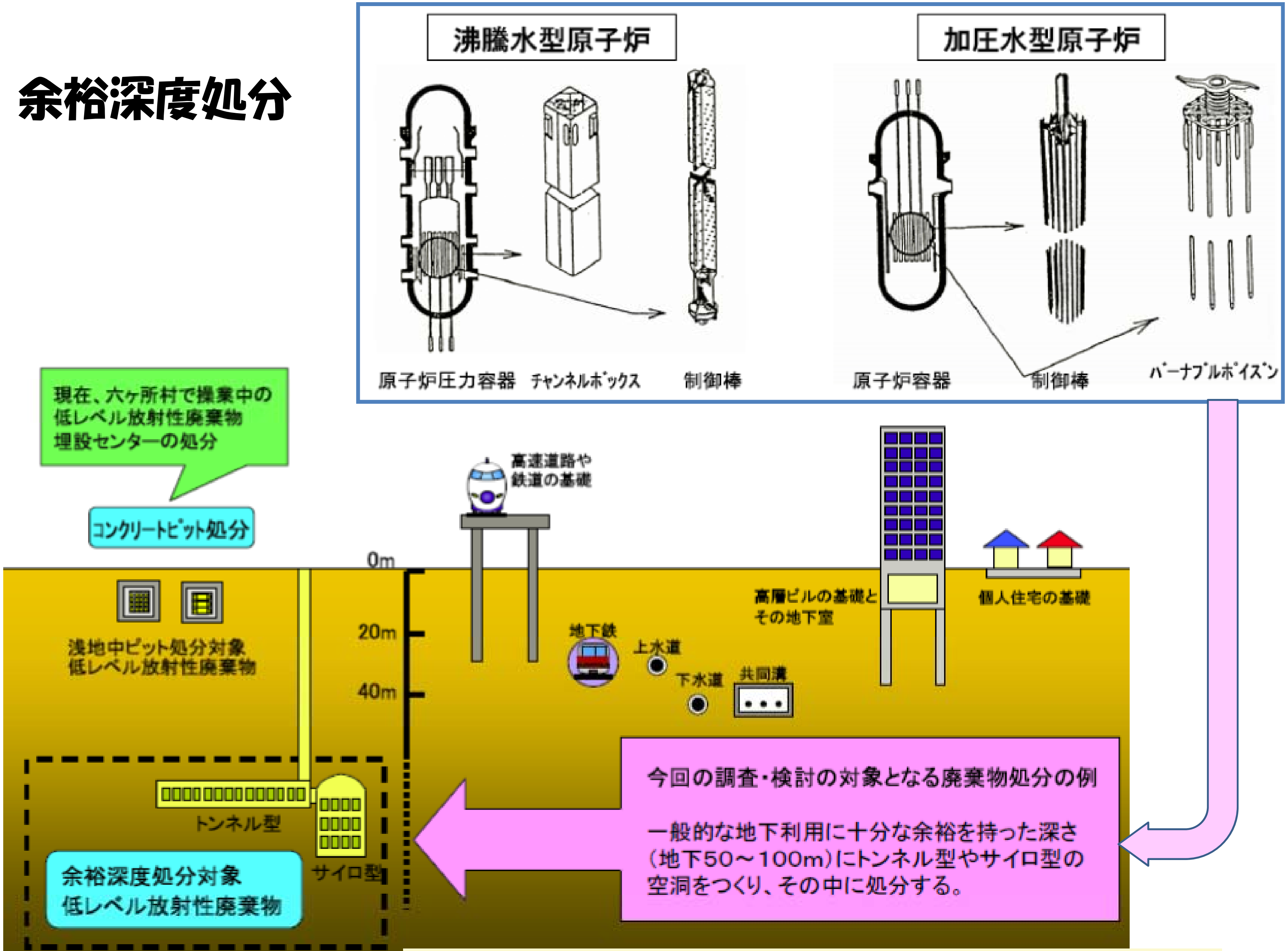


地下水の流れの概念図



出典：日本原燃㈱パンフレット「六ヶ所原子燃料サイクル施設の
疑問にお答えします」 日本原燃㈱会社案内

余裕深度処分



管理期間が終了しても長期間生活環境に入ってこない

放射性廃棄物処分に係る制度化・事業化の状況

<table>
<tr><th colspan="3" rowspan="2">廃棄物の区分</th><th></th><th>原子力委員会</th><th colspan="3">原子力安全委員会</th><th rowspan="2">安全規制に係る関係法令等</th><th rowspan="2">事業化の動向</th></tr>
<tr><th>発生場所</th><th>処分方針</th><th>安全規制の考え方</th><th>濃度上限値</th><th>安全審査指針</th></tr>
<tr><td colspan="3">高レベル放射性廃棄物</td><td>再処理施設</td><td>報告
（1984年5月、1998年5月）</td><td>報告
（2000年11月、2002年9月、2007年5月）</td><td></td><td>今後検討</td><td>整備済
（2008年4月）</td><td>原子力発電環境整備機構が文献調査を行う地域を公募中</td></tr>
<tr><td rowspan="5">低レベル放射性廃棄物</td><td colspan="2">超ウラン核種を含む放射性廃棄物（TRU廃棄物）</td><td>再処理施設
MOX燃料加工施設</td><td>報告
（2000年3月、2006年4月）</td><td>報告
（2007年7月）</td><td>報告
（2007年5月）
（地層処分を除く）</td><td></td><td>整備済
（2008年4月）</td><td>原子力発電環境整備機構が文献調査を行う地域を公募中</td></tr>
<tr><td rowspan="3">原子炉施設から発生する廃棄物</td><td>放射能レベルの比較的高い廃棄物
（余裕深度処分）</td><td rowspan="3">原子炉施設</td><td>報告
（1998年10月）</td><td>報告
（2000年9月、2007年7月）</td><td>報告
（2000年9月、2007年5月）</td><td>報告
（2010年8月）</td><td>整備済
（2008年4月）</td><td>六ヶ所村において、日本原燃(株)が本格調査を実施</td></tr>
<tr><td>放射能レベルの比較的低い廃棄物
（浅地中ピット処分）</td><td rowspan="2">報告
（1984年8月、1985年10月）</td><td rowspan="2">報告
（1985年10月、20007年7月）</td><td>報告
（1987年2月、1992年6月、2007年5月）</td><td>報告
（1988年3月、1993年1月、2001年3月）</td><td>整備済
（2008年4月）</td><td>六ヶ所村において、日本原燃(株)が埋設を実施中</td></tr>
<tr><td>放射能レベルの極めて低い廃棄物
（浅地中トレンチ処分）</td><td>報告
（1992年6月、2000年9月、2007年5月）</td><td>検討済
（1993年1月、2001年3月）</td><td>整備済
（2008年4月）</td><td>日本原子力研究所が試験研究炉(JPDR)の解体廃棄物の埋設を実施</td></tr>
<tr><td colspan="2">ウラン廃棄物</td><td>ウラン濃縮・燃料加工施設</td><td>報告
（2000年12月）</td><td>一部検討済
（2006年4月）</td><td>今後検討</td><td>今後検討</td><td>一部整備済
（2008年4月）</td><td>研究施設等廃棄物については、日本原子力研究開発機構が検討中</td></tr>
</table>

浅地中処分：今の社会の中（法律等の制度が継続する期間）で決着がつく処分

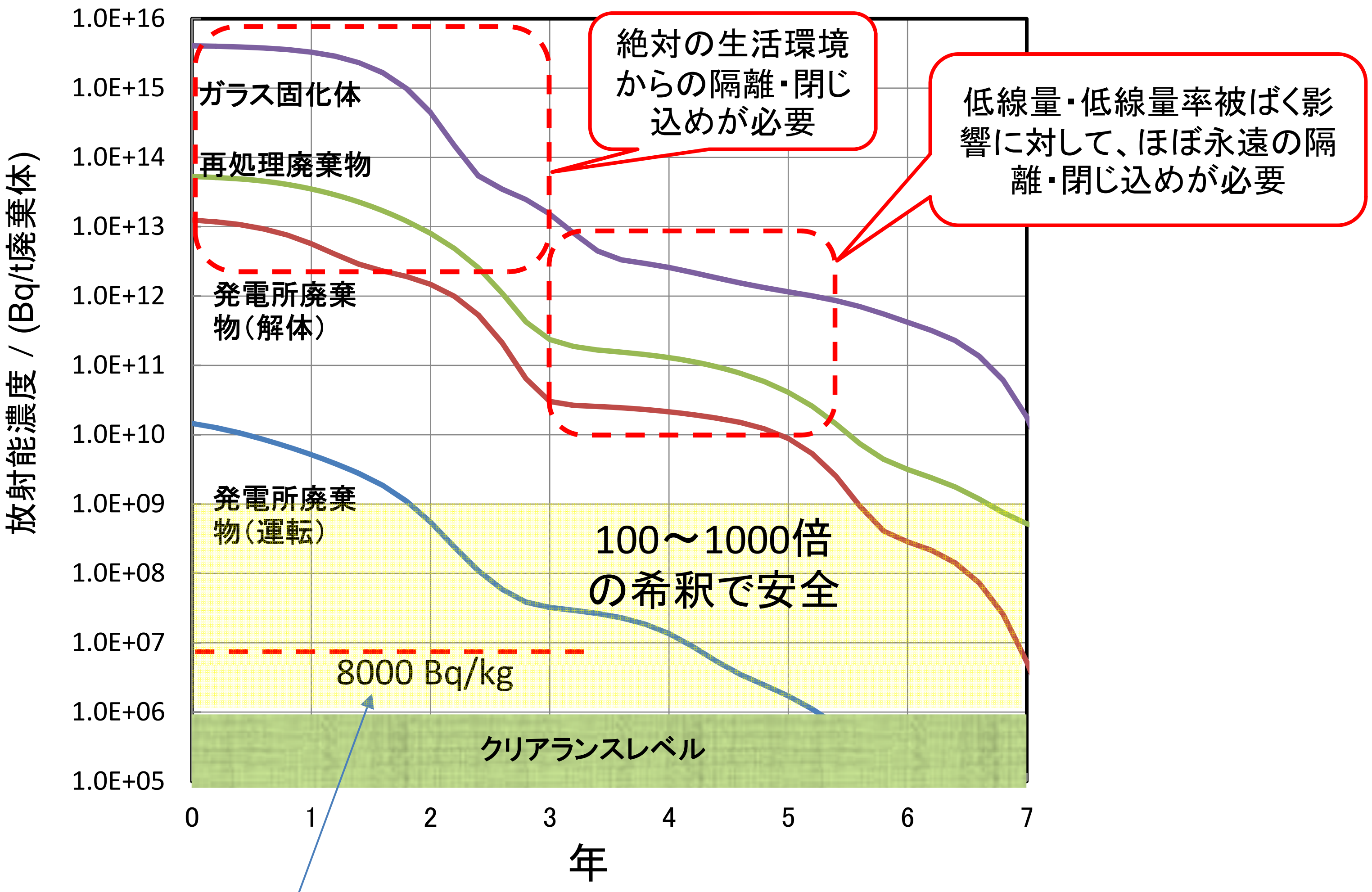
バックエンド週末基礎講座
2012年（平成24年）11月17日

放射性廃棄物処分の基本的考え方と課題

- 放射性廃棄物の発生とその性状、放射線の健康影響
- 低レベル廃棄物の浅地中処分、余裕深度処分
- **高レベル廃棄物、ＴＲＵ廃棄物の地層処分**
- 放射性廃棄物の処分の社会における実施における課題

（公財）原子力安全研究協会
放射線・廃棄物安全研究所
杤山　修

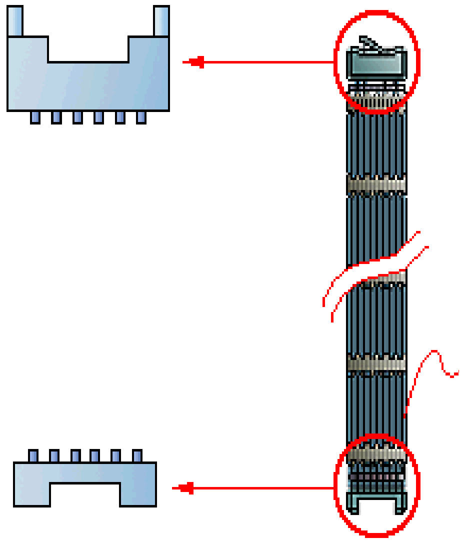
各種放射性廃棄物の放射能濃度



汚泥・焼却灰の扱い：こういう濃度の物質を扱う作業をすると年間被ばくが 1 mSv を超える

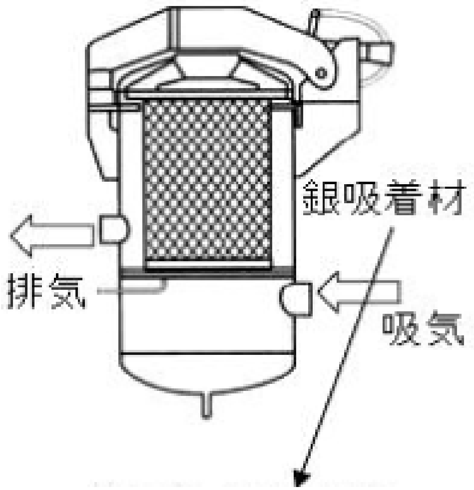
- **隔離・閉じ込めにより生活環境に入らないようにする。**
- **長寿命放射性廃棄物の放射能濃度は長期にわたって自然に起こる希釈拡散で安全なレベルにならない**

TRU（Transuranium）放射性廃棄物の代表例

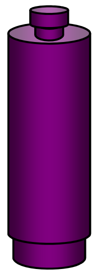


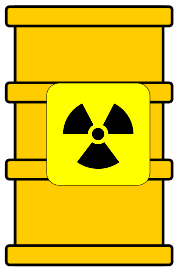
エンドピース
燃料集合体の末端部分
（材質：SUS, インコネル）

ハル
数cmにせん断された燃料被覆管
（材質：ジルカロイ）



廃銀吸着材
放射性ヨウ素吸着材
材質：シリカゲル、ゼオライト





処分の目的＝隔離・閉じ込め：自然現象、人の行為から守り続ける

ガラス固化体（固体になって閉じ込められている）の危険性

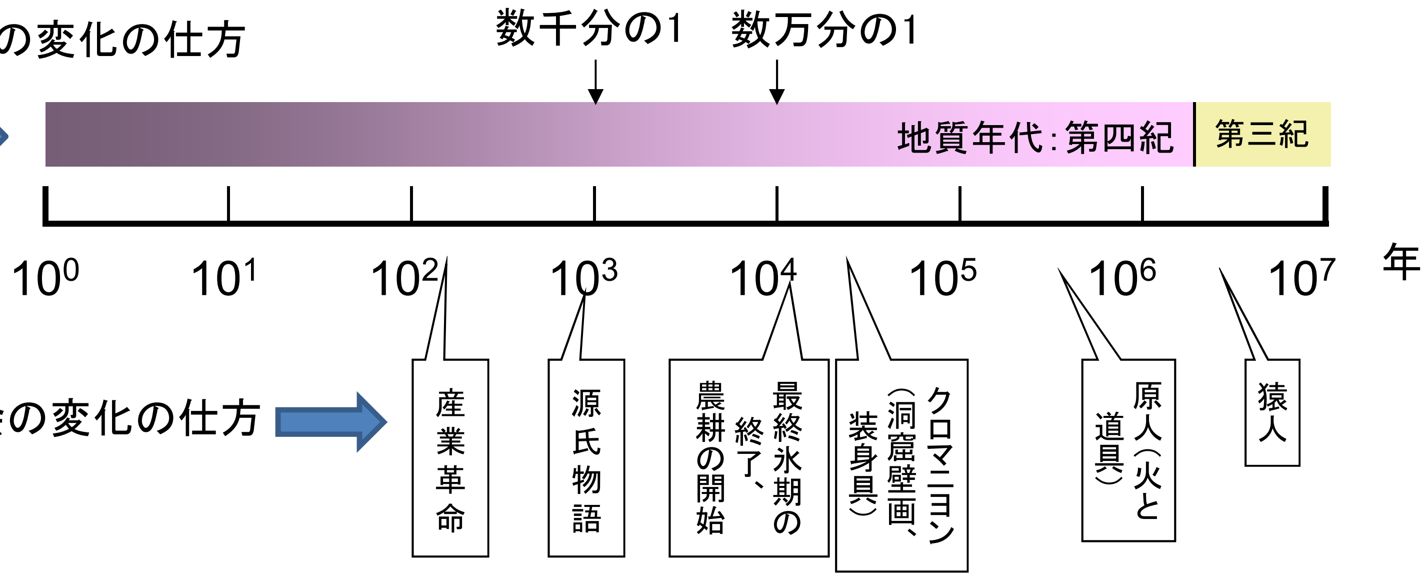
放射線影響により環境や公衆に危険を与えるには、ガラス固化体を自然現象または人の行為により破壊し、何らかの力（自然現象、人の行為）により環境に飛散させなければならない。

⇩

長期にわたり外的擾乱事象に対して抵抗力のある（隔離・閉じ込めができる）処分方法が必要

過去の地質環境の変化の仕方

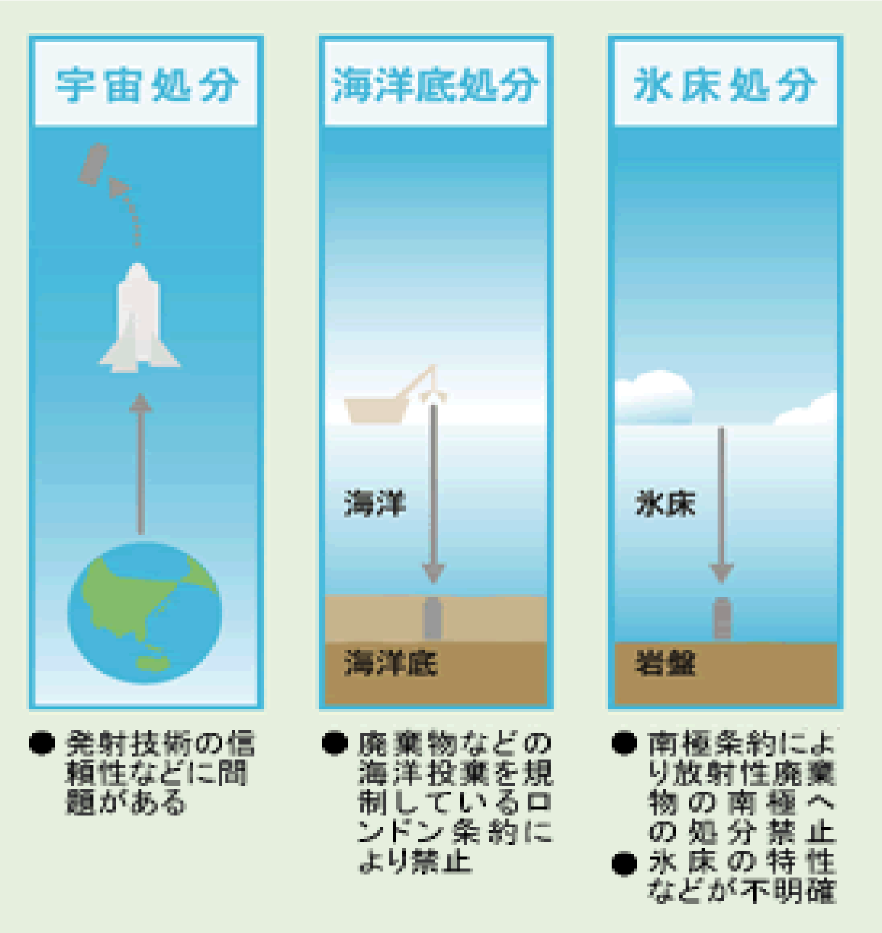
過去の人間社会の変化の仕方



長期地上管理

- 将来世代に負担（管理・保守を行わねばならない）
- 社会の安定性、管理能力が失われた際の防護が問題となる（社会システムの安定性に対して期待できるのは数百年ほど）

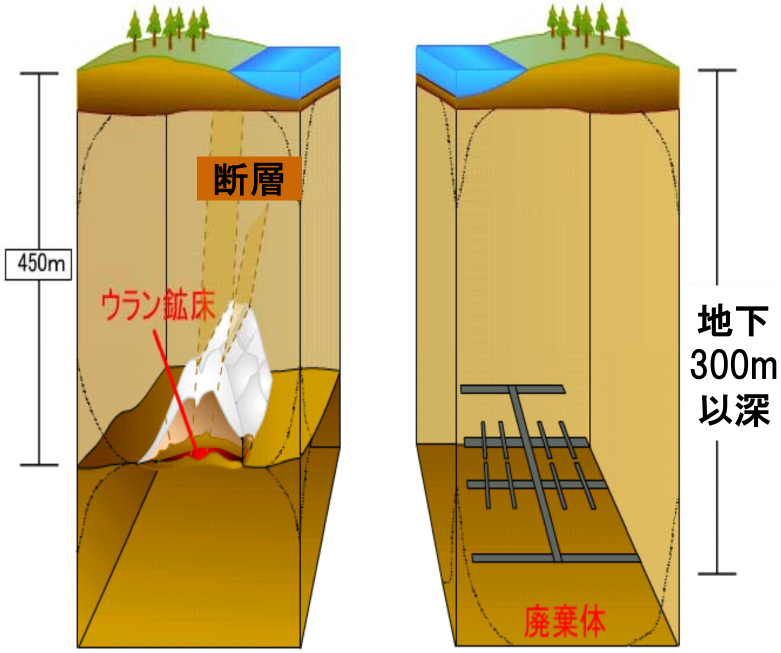
その他の隔離・閉じ込め方法と地層処分の比較



地 層 処 分

地下の鉱床のように、地下深く
に隔離して閉じ込めておく

カナダのシガーレイク鉱床　　地層処分概念



約13億年前に形成

300 mより深く
（500～1000m）

自国の廃棄物は自国内で処分することが好ましい
未知の要素（不確実性）が少ないことが好ましい

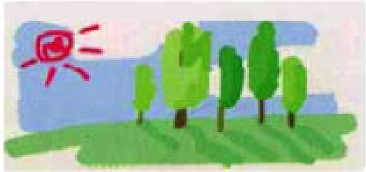
⇩

地下は長期（何万年～何千万年）にわたって極めて安定で地表の影響を受けにくい
地表においておくより安全

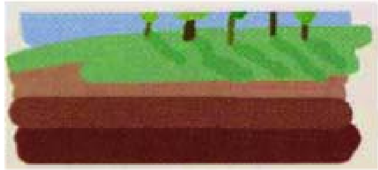
地表と地下の比較

地下深部はものを閉じ込めておくうえで安定している。

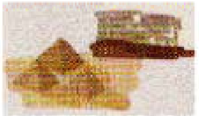
数百年以上の人間による管理は負担が大きく、継続を期待するのはリスクが高い



地表（人間による管理）



地下（処分）

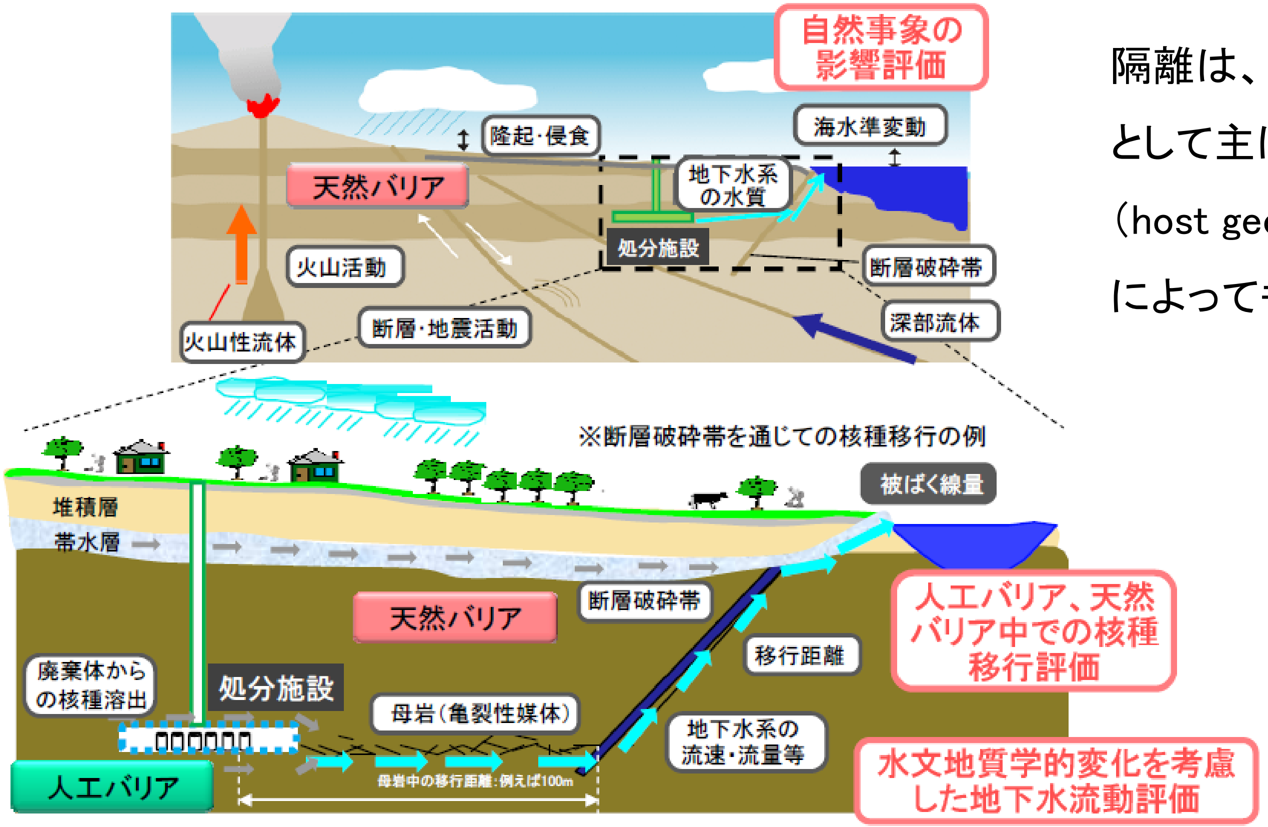
		地表（人間による管理）	地下（処分）
自然現象		地震、火山、断層、台風、地滑り、津波、隕石、他	火山、断層
人の行為		破壊、爆発、火事、公害、事故、戦争、テロ、他	掘削
ものの動き (100m動く)		空気：台風　～数秒 水　：河川　～数分	空気：なし 水　：～数万年以上(地下水)
残されているもの		文字：～数千年 建物：～数千年	化石：～数億年 地層：～数十億年

地下での様々な変化は地質学的時間スケールで起こり極めて緩慢

- ◆ 受動的な安全系(Passive Safety System)：外的擾乱事象に対して抵抗力があり、内的な原因で危険がもたらされることがない
- ◆ 処分場を閉鎖するまでは、再取り出しができ、将来世代に意思決定の余裕を残す
- ◆ 閉鎖後もモニタリング、記録の保存、マーカーなどにより時間とともに緩やかになる管理で安全確保ができ、管理の負担が小さい
- ◆ 他の国に迷惑をかけない
- ◆ より安全になるような工学的設計ができる

隔離型処分（余裕深度処分、地層処分）の安全評価シナリオ

防護目標：将来世代の人々の健康に対しても、現在受け容れられている影響のレベルよりも大きくならないことを確認する。



隔離は、処分の深度の結果として主に母岩となる地層（host geological formation）によってもたらされる。

接近シナリオ：隆起・侵食、人間侵入などにより廃棄物と人間の離隔喪失

地下水シナリオ：人工バリアから漏出した核種が生活圏に移行

代表的個人　＝　最大の被ばくを受けると合理的に想定される個人
（様々な生活をしている人々のうち、最大の被ばくをうけると考えられる集団を代表する個人）
将来の時間にかかわらずその時の気候条件に応じて今と同様の生活をしていると想定する

地層処分の選択

- ◆ 日本は火山や地震が多く、地下水が豊富といった特徴がある
- ◆ これらを考慮した適切な処分施設建設地の選定と工学的対策を講じることで対応可能

わが国の地質環境

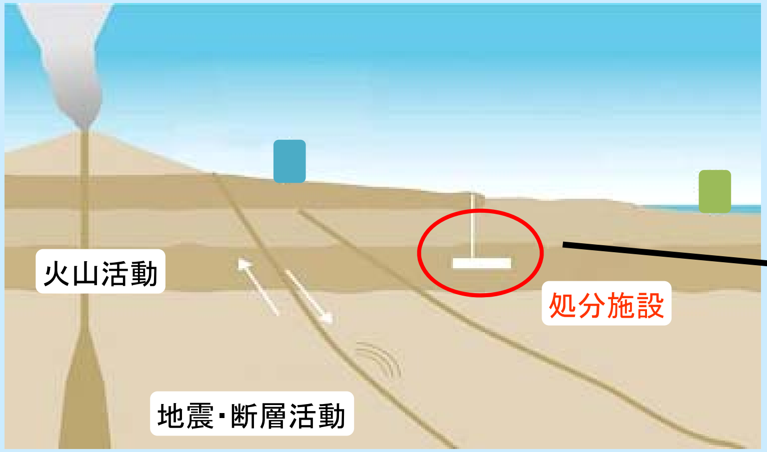
火山・地震・断層 → 処分施設の破壊

地下水の存在 → 地下水による放射性物質の運搬

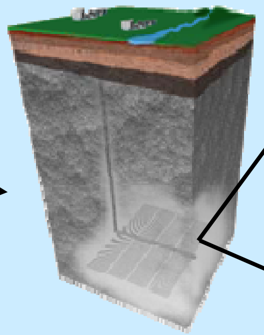
安全性への影響の可能性

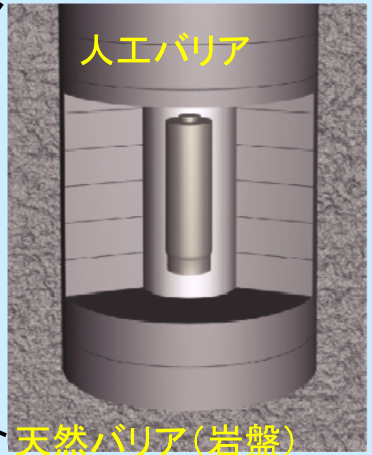
対　策

火山や断層等を避けることで、地層処分にとって安定な場所を選定



適切な多重バリアシステムを構築
（工学的な対策）





NUMO提供資料を改変

日本の地層処分の技術的成立性

1. 火山や地震の多い変動帯にある日本で、地層処分システムの設置に適した安定な地質環境を見つけることができるか
2. 人工バリアや処分施設が、技術的にも経済的にも無理なく設計施工できるか
3. 構築された地層処分システム（地質環境、人工バリア）の長期にわたる性能を信頼性をもって評価すること（安全性を判断すること）ができるか

肯定的知見

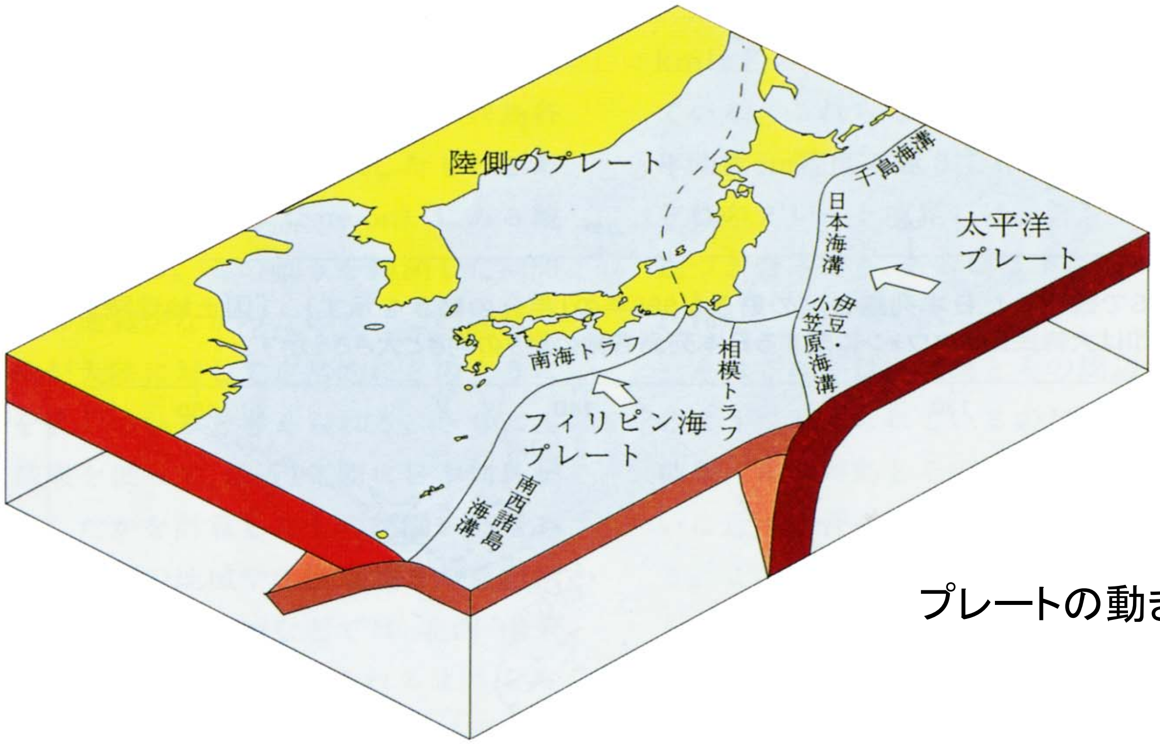
- 原子力研究開発機構:「わが国における高レベル放射性廃棄地層処分の技術的信頼性」ー地層処分研究開発第2次取りまとめー (1999)
- 原子力発電環境整備機構:「高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性」ー「処分場の概要」の説明資料ー(2004)
- 原子力発電環境整備機構「地層処分事業の安全確保（2010 年度版）」〜確かな技術による安全な地層処分の実現のために〜(2011)
- 海外、国内の、文献（既存知識）、実験室研究、フィールド（地上、地下）研究による知見

日本の地層処分の技術的成立性

1. **火山や地震の多い変動帯にある日本で、地層処分システム（地下数km四方程度）の設置に適した安定な地質環境を見つけることができるか**
2. 人工バリアや処分施設が、技術的にも経済的にも無理なく設計施工できるか
3. 構築された地層処分システム（地質環境、人工バリア）の長期にわたる性能を信頼性をもって評価すること（安全性を判断すること）ができるか

日本に火山と地震が多い理由

- ◆ 日本は太平洋プレート、フィリピン海プレートといった海洋プレートが、ユーラシアプレートや北米プレートといった大陸プレートの下に沈み込んでいるため、火山や地震が多い
- ◆ プレートの位置や運動方向・速度は約200～100万年前からほとんど変化がなく、今後も10万年程度はほとんど変化しないと考えられている



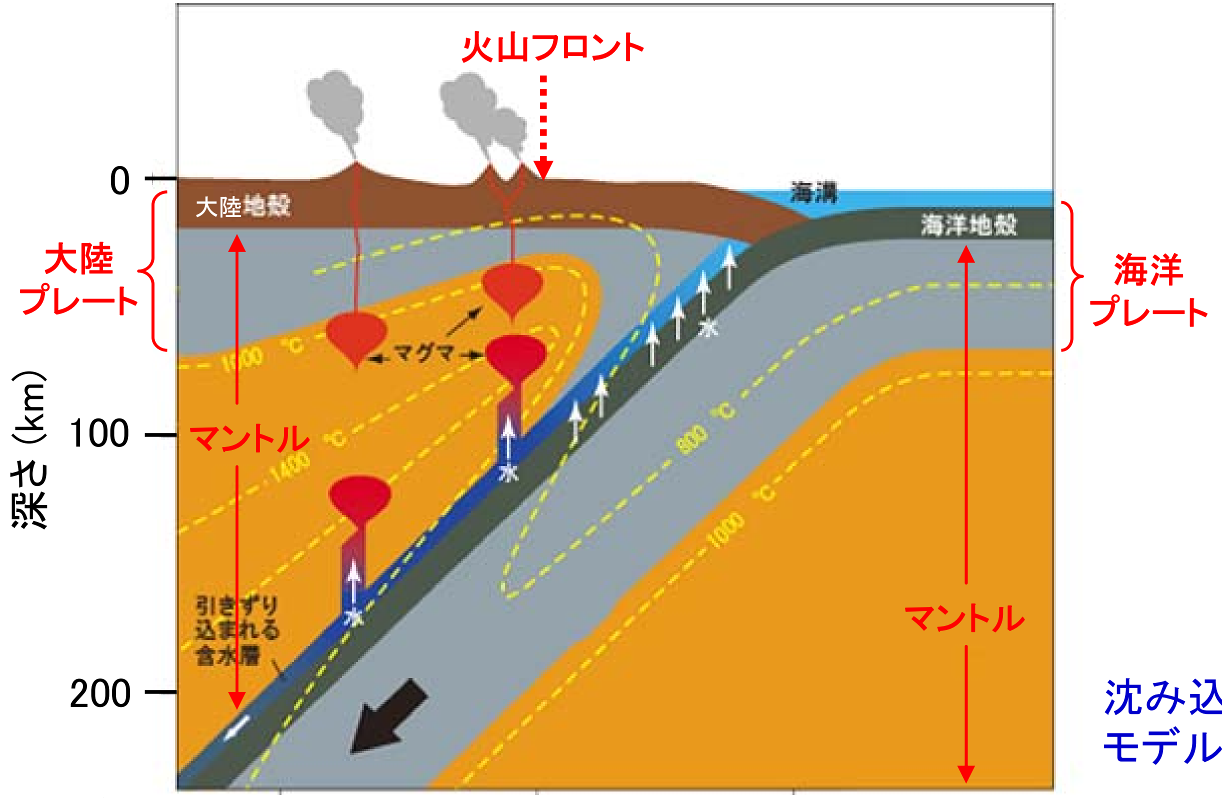
プレートの動き：3~7 cm/年

日本列島とその周辺のプレート
（地震調査研究推進本部地震調査委員会編、1997に一部加筆）

NUMO提供資料を改変

代表的な火山の発生モデル

- ◆ 水分を含んだ海洋プレートが日本列島の下にもぐり込むと、温度・圧力が上昇して岩盤から水分が放出される
- ◆ この水分によりマントルの融点が下がり（溶けやすくなり）、マグマが発生。これが上昇し、地表に噴出して火山となる
- ◆ マグマが発生する深さは約100km以深であるため、多くの火山はプレートが沈み込む位置（日本海溝など）からおおよそ一定の距離に分布（火山フロントを形成）

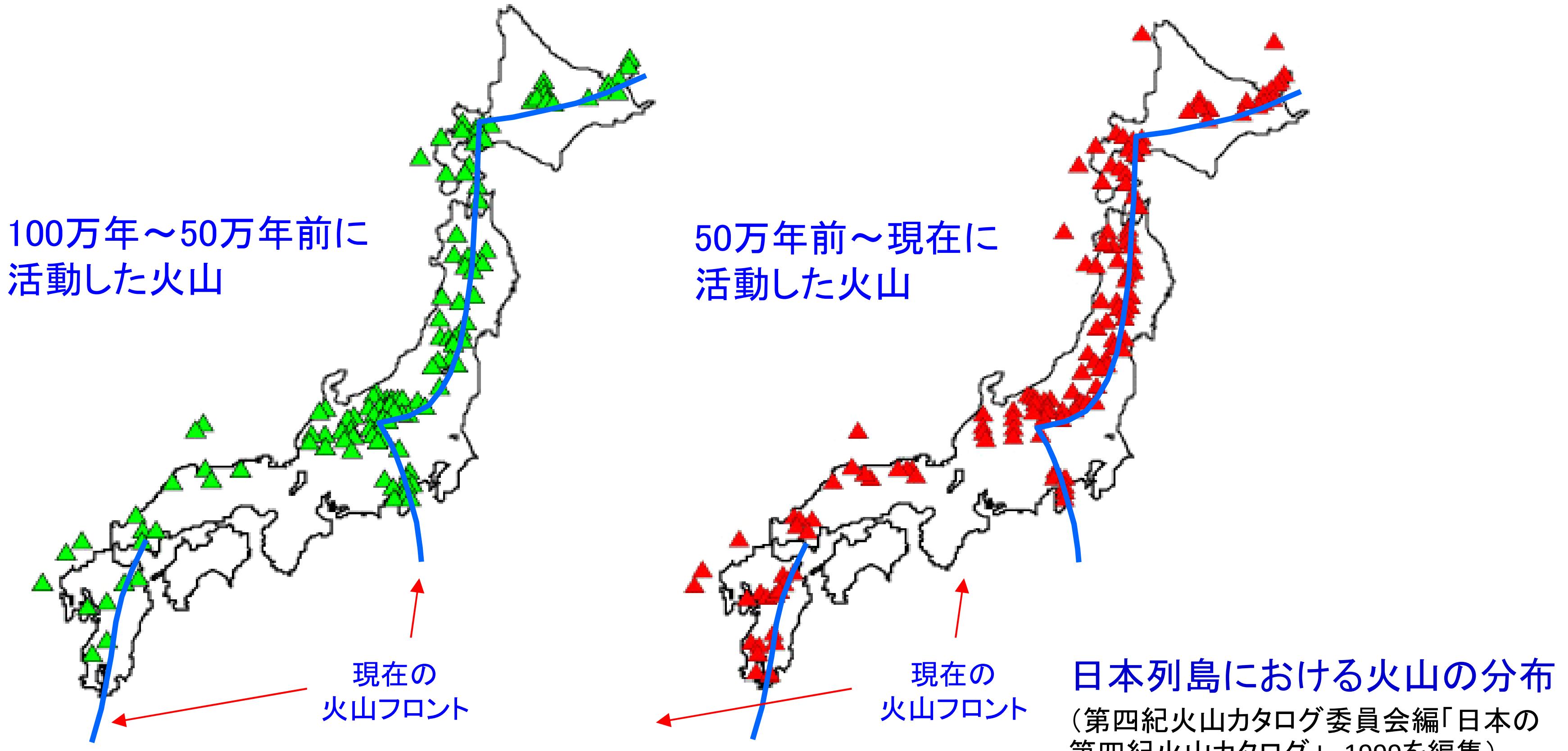


沈み込み帯におけるマグマ発生モデルの例　（巽、1995を編集）

NUMO提供資料を改変

日本周辺の火山分布の特徴

- ◆ プレートの沈み込む位置や運動方向・速度は、過去約200～100万年前からほとんど変化がない
  - ⇒ 火山フロントの位置はほとんど変わっていない
  - 火山が集中する地域と存在しない地域がある
- ◆ 火山の活動地域と影響範囲は推定可能であり、影響範囲を避けて処分場を建設することが可能



日本列島における火山の分布
（第四紀火山カタログ委員会編「日本の第四紀火山カタログ」、1999を編集）

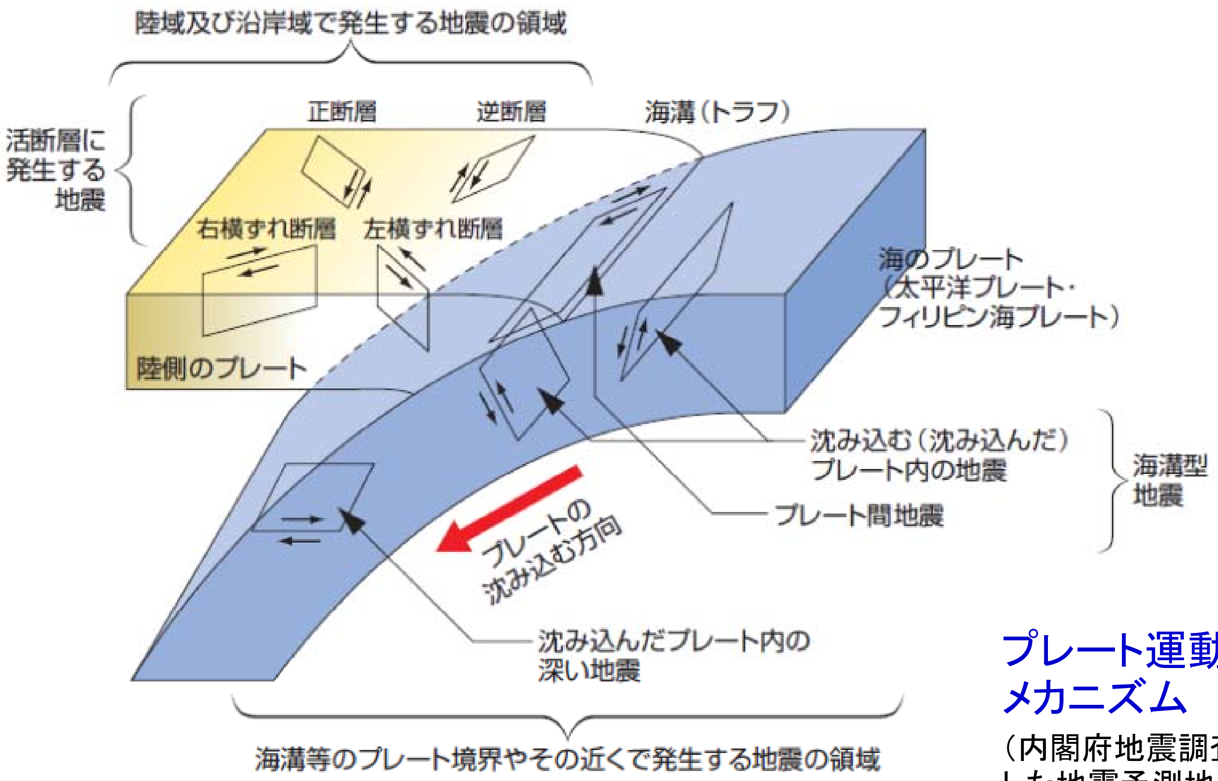
NUMO提供資料を改変

地震の発生メカニズム

◆ 地殻にたまった力が、岩盤がずれて破壊し解放されることで、地震が発生。このずれが断層となる

◆ 一度できた断層は、弱面となってそこで繰り返し活動する傾向にある。過去数十万年以降に繰り返し活動したことが確認され、将来も活動する可能性がある断層を活断層という

◆ プレート運動による地殻への力のかかり方が大きく変わらない限り、新しい断層が突然できることはないと考えられている

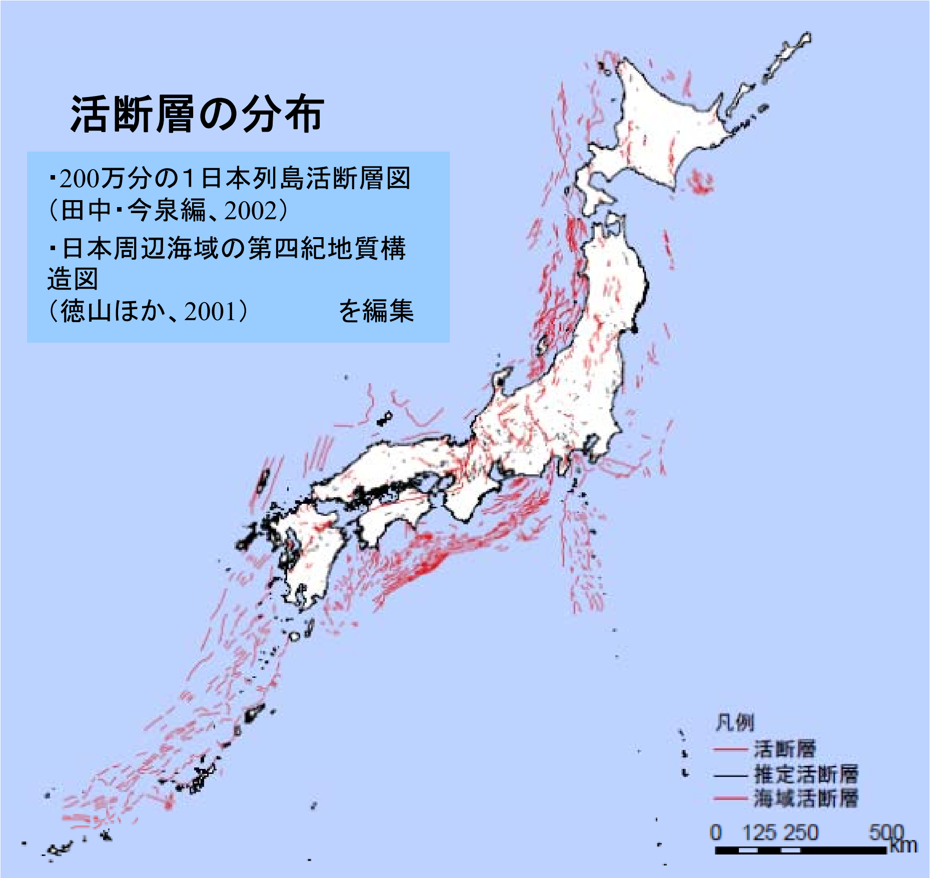


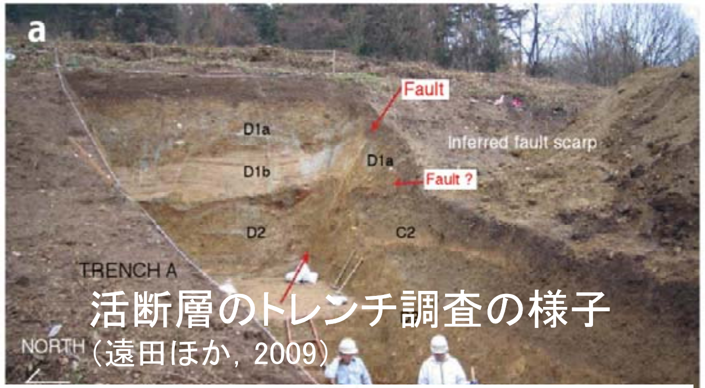
プレート運動にともなう地震発生のメカニズム
（内閣府地震調査研究推進本部「全国を概観した地震予測地図」）

NUMO提供資料を改変

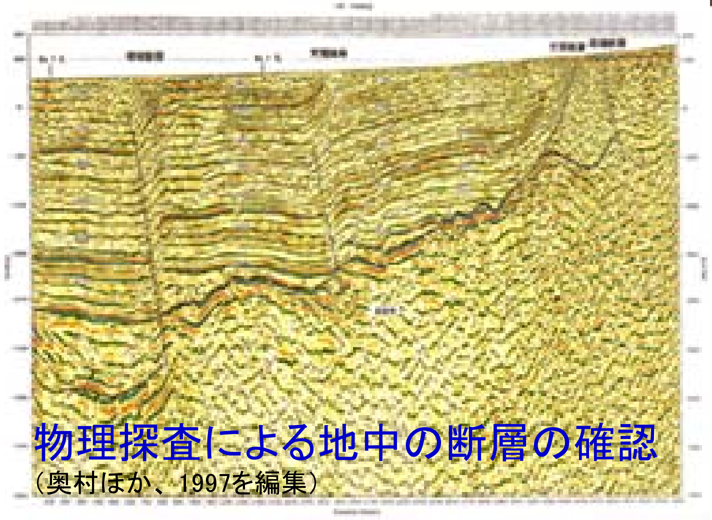
活断層の回避

- ◆ この20年間で全国の活断層分布図が急速に整備され、活断層は偏在している（密集している地域とそうでない地域がある）ことが確認されている
- ◆ 候補地が決まれば、ボーリング調査やトレンチ調査、物理探査などを行って活断層の有無を詳細に調査し、影響のある活断層を回避する





活断層のトレンチ調査の様子
（遠田ほか，2009）



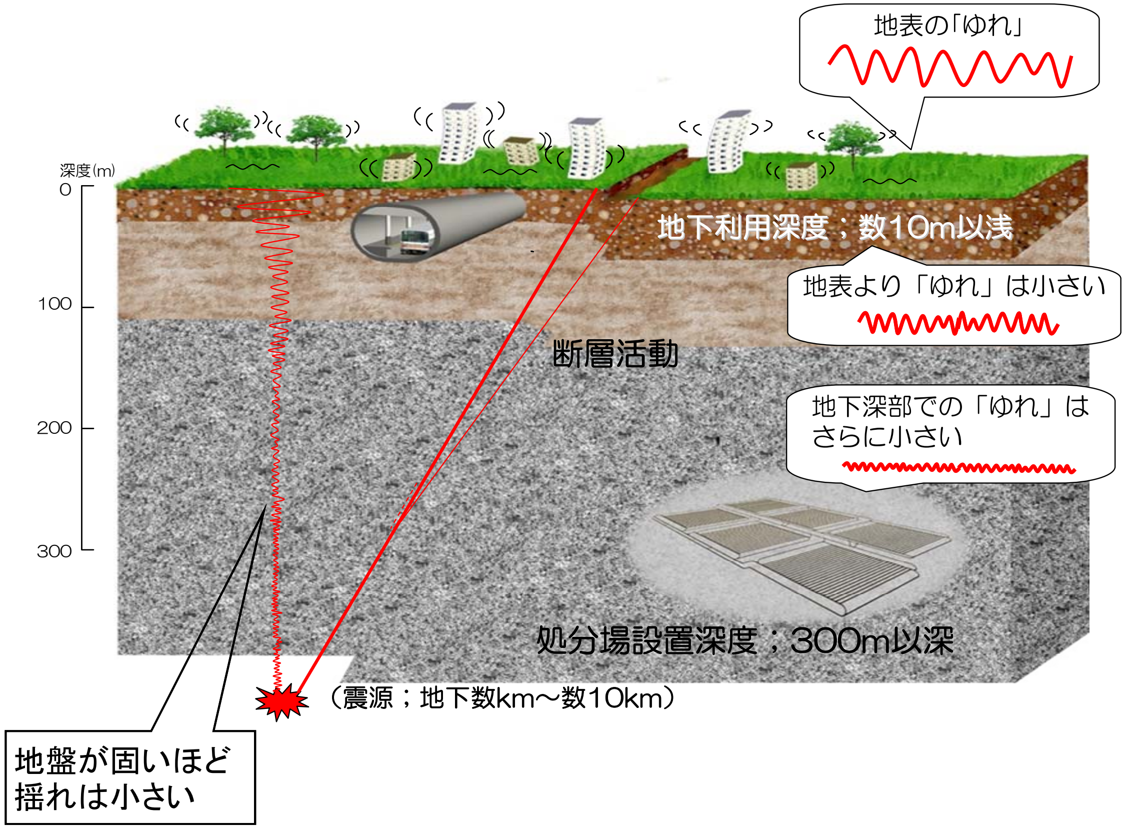
物理探査による地中の断層の確認
（奥村ほか、1997を編集）

NUMO提供資料を改変

地震が及ぼす処分施設への影響

- ◆ 一般に地表部は地盤が軟らかく、地震によるゆれが大きい。逆に、地下深くなるほど硬いため、地表に比べ地震の揺れが小さい
- ◆ 廃棄体は周囲の岩盤と一体になって揺れる

➡ 廃棄体が地震により破壊される可能性は非常に小さい



NUMO提供資料を改変

震度7直下型地震における被害事例

地表の壊滅的な被害に対し、トンネルの空洞が保たれている

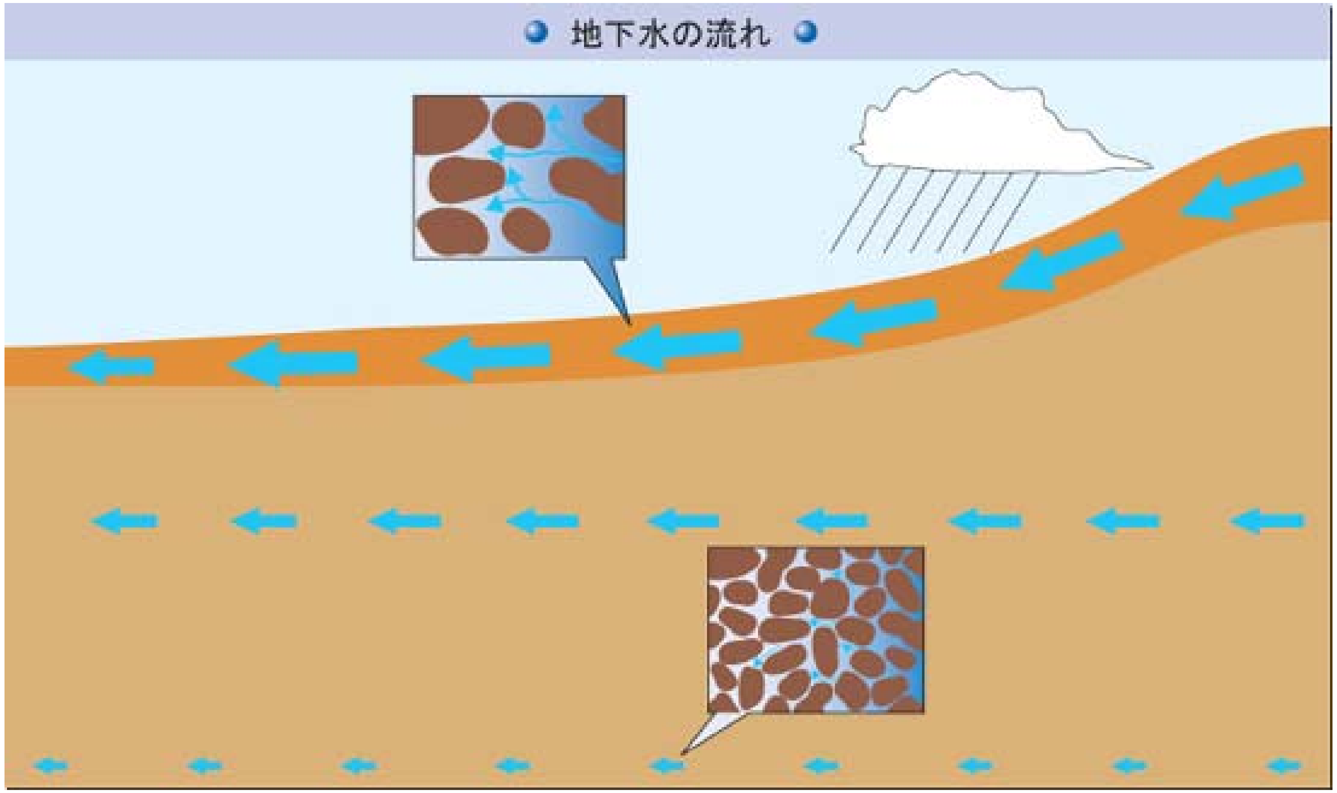
（土木学会（第1次）・地盤工学会合同調査団　調査速報より）

地下水の特徴

◆ 一般に、深いほど岩盤が固く、緻密であるため、地下水は流れにくい

◆ 日本は地質変化に富み、地質構造が複雑であるため、地下水の流れ方も変化に富む

⇒ 様々な調査・解析を行って、候補地周辺における地下水の流れや成分（化学組成など）を評価する

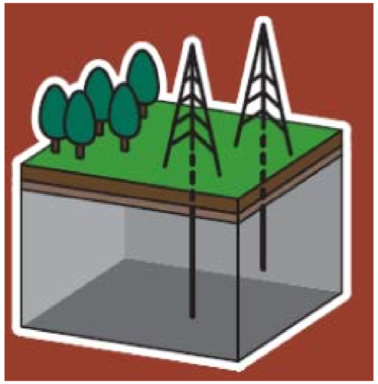


NUMO提供資料を改変

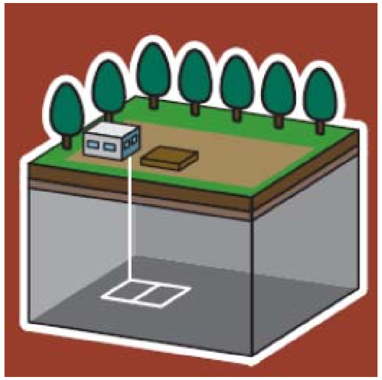
段階的な候補地の選定により安定な地質環境を選定する

公募
応募
文献調査
→ 概要調査地区選定
概要調査
→ 精密調査地区選定
精密調査
→ 最終処分施設建設地選定
建設（約10年）
操業（約50年）
閉鎖

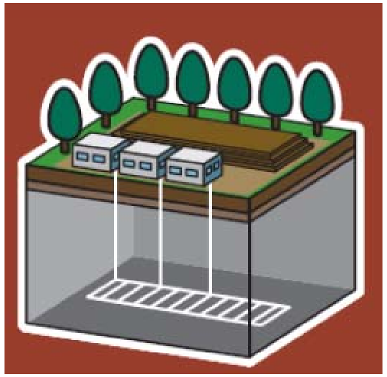
ボーリング調査など



地下施設での測定・試験など



処分施設の建設・操業

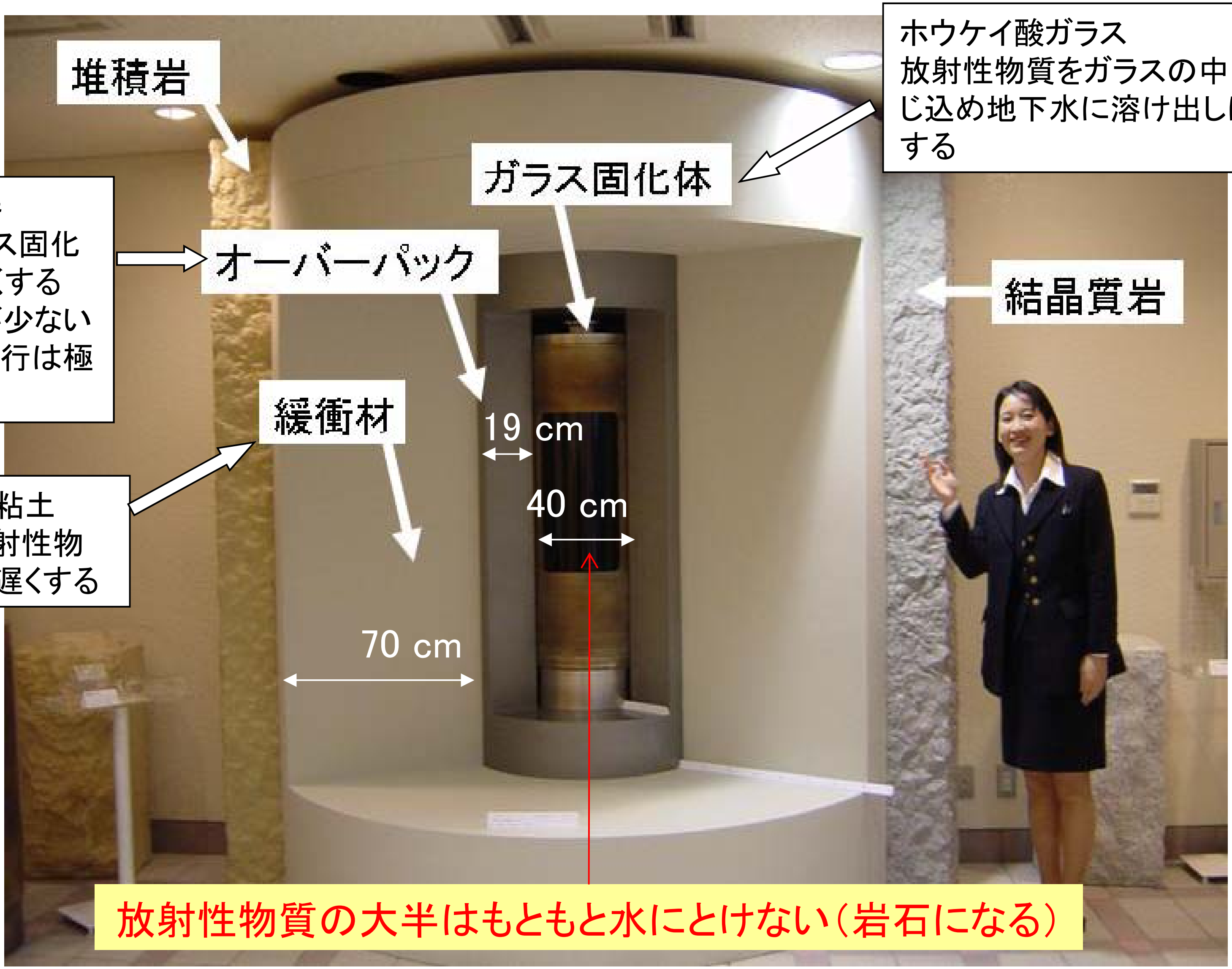


各調査結果の妥当性は規制によりレビューされる（規制は判断指標を準備中）

日本の地層処分の技術的成立性

1. 火山や地震の多い変動帯にある日本で、地層処分システムの設置に適した安定な地質環境を見つけることができるか
2. **人工バリアや処分施設が、技術的にも経済的にも無理なく設計施工できるか**
3. 構築された地層処分システム（地質環境、人工バリア）の長期にわたる性能を信頼性をもって評価すること（安全性を判断すること）ができるか

人工バリア：放射性物質の閉じ込めをより確実に



金属製の容器
地下水をガラス固化体に触れにくくする
地下は酸素が少ないので腐食の進行は極めて遅い

締め固めた粘土
地下水と放射性物質の移動を遅くする

ホウケイ酸ガラス
放射性物質をガラスの中に閉じ込め地下水に溶け出しにくくする

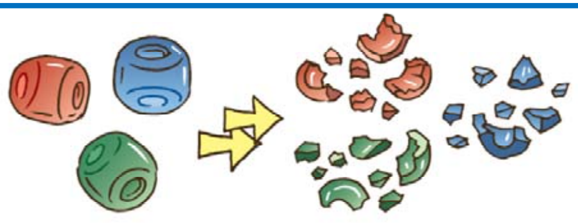
放射性物質の大半はもともと水にとけない（岩石になる）

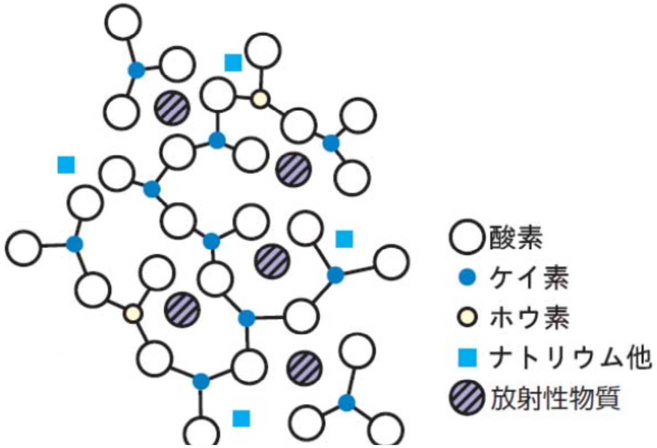
日本原子力研究開発機構資料を改変

ガラス固化体の特徴（人工バリア）

- ◆ ガラス固化体は、放射性物質を閉じ込める役目を持つ
- ◆ ガラスは分子構造の中に放射性物質を閉じ込めることが可能で、割れても放射性物質が漏れ出すことはない
- ◆ ガラスは水に溶けにくい（ガラス固化体が速く溶けるとしても全てが溶けるのに約7万年かかると評価）
- ◆ たいていの放射性物質も極めて水に溶けにくい

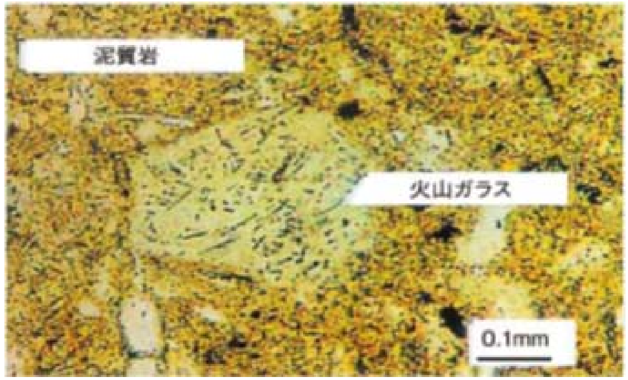
【ガラス固化体の仕様例】
材質：ガラス
寸法：高さ 134cm
　　　直径 43cm
重量：500kg
ガラス容積：150ℓ





ガラス固化体は網目構造の中に放射性物質を取り込み長期間安定な状態を保つ

100万年前の火山ガラス



およそ100万年前に堆積した泥質層の中に埋まった「火山ガラス」からは、ガラスの成分の溶けだしがほとんどないことが確認されている（千葉県にて産出）

日本原子力研究開発機構パンフレット
「地層のことを考える」

NUMO提供資料を改変

オーバーパックの特徴（人工バリア）

◆ オーバーパックは、ガラス固化体と地下水の接触を遮断し、1000年間水との接触を避ける役目を持つ

◆ 地下の深部では酸素が少ないため、金属の腐食は極めてゆっくりとしか進まない（長期腐食実験の結果、1000年間におけるオーバーパックの腐食量は、地下深部の環境条件の不確実性などを考慮して大きめに評価しても32mm程度）

長期腐食実験などを踏まえて、1000年間の腐食量は保守的に32mmと想定

【オーバーパックの仕様例】
材質：炭素鋼
寸法：高さ 173cm
　　　直径 82cm
　　　厚さ 19cm（※）
重量：約6トン

※外からの圧力に対する安全性や、オーバーパックを透過する放射線による影響の低減などを考慮して、必要な厚さを安全側に19cmと設定した例

鉄は遊離の酸素がない環境ではほとんど腐食しない

英国インテシュルの古代ローマ軍の要塞跡の鉄釘（約1900年前）

これまで考古学で出土した鉄製品の長期腐食事例からは、1000年間の鉄製品の腐食深さは1～14mm

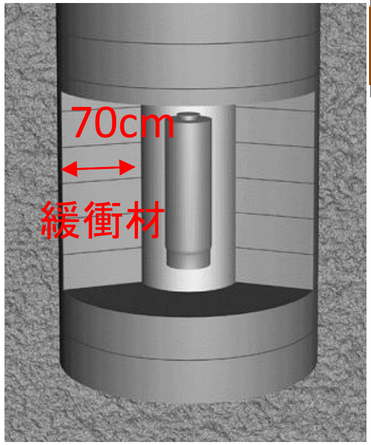
NUMO提供資料を改変

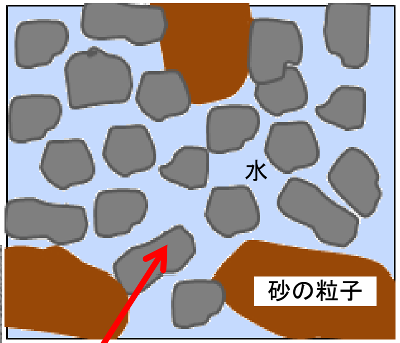
緩衝材の特徴（人工バリア）

◆ 緩衝材は、オーバーパックへの地下水の浸透や、放射性物質の移行を遅らせたり、放射性物質を吸着する役目などを持つ

◆ 緩衝材は、天然の粘土（ベントナイト等）が主成分。ベントナイトは吸水すると膨らみ、粒子間の隙間を埋めることで水を通しにくくする性質を持つ

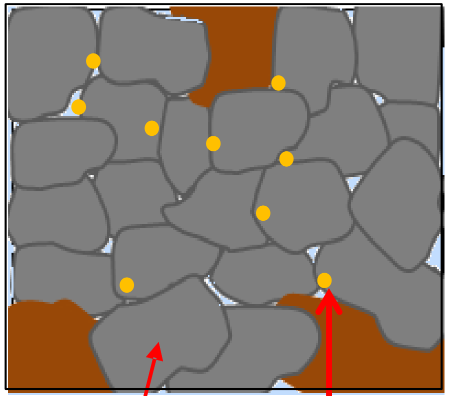
◆ 地下水を非常に通しにくいため、内部の環境が安定的に保持される





ベントナイト粒子

ベントナイトの膨潤



吸水により膨潤したベントナイト粒子

ベントナイトに吸着した放射性物質

【緩衝材の仕様例】
材質：ベントナイト70%、ケイ砂30%
寸法：高さ 310cm、外径 220cm、内径 80cm
厚さ 70cm

● 堺市下田遺跡から発掘された銅鐸
● 粘土の中で、1800年間腐食がほとんどなく、金属光沢が保たれていた

写真提供 （財）大阪府文化財センター

NUMO提供資料を改変

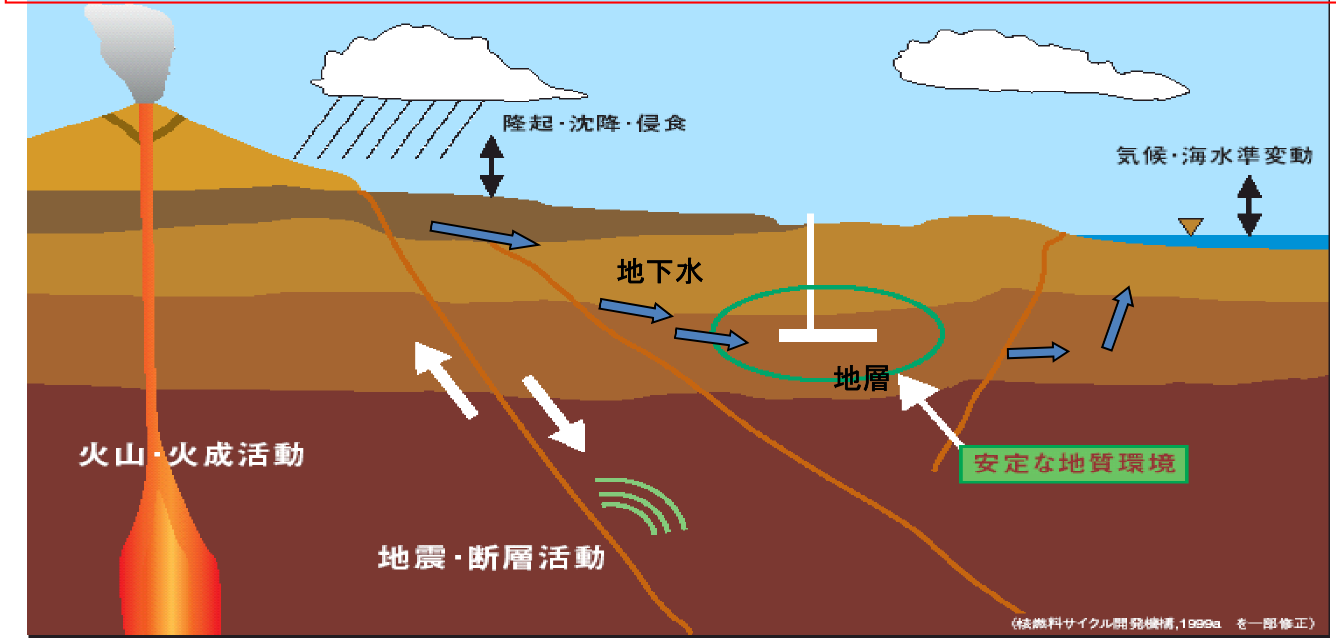
日本の地層処分の技術的成立性

1. 火山や地震の多い変動帯にある日本で、地層処分システムの設置に適した地層処分に適した安定な地質環境を見つけることができるか
2. 人工バリアや処分施設が、技術的にも経済的にも無理なく設計施工できるか
3. **構築された地層処分システム（地質環境、人工バリア）の長期にわたる性能を信頼性をもって評価すること（安全性を判断すること）ができるか**

放射性廃棄物の処分システムの安全評価の考え方

放射性物質が生活環境に出て行くところに人がいて被ばくすると仮定して、問題になるほど放射性物質が生活環境にもたらされない（隔離・閉じ込めされている）ことを確認する

時間枠と空間枠：埋設後～数十万年にわたる廃棄物の辿る地質環境での運命の幅



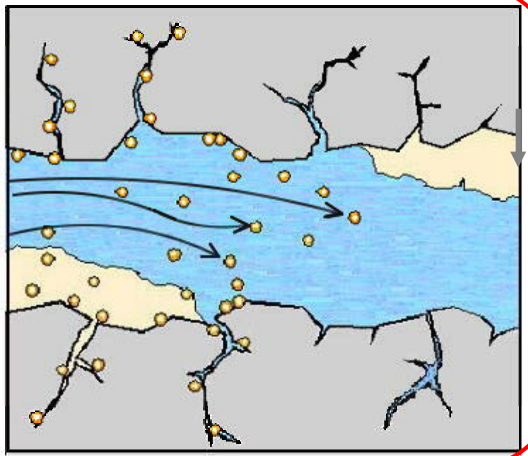
ガラス固化体中の放射性物質

- 放射性物質が溶け出して環境を汚染
- 人間との距離が接近

→ 体内に取り込み被ばく
接近して被ばく

様々な外的条件（地質環境、人工バリアの状態と変遷）のもとで起こること

高レベル廃棄物の地層処分システムの安全評価モデル

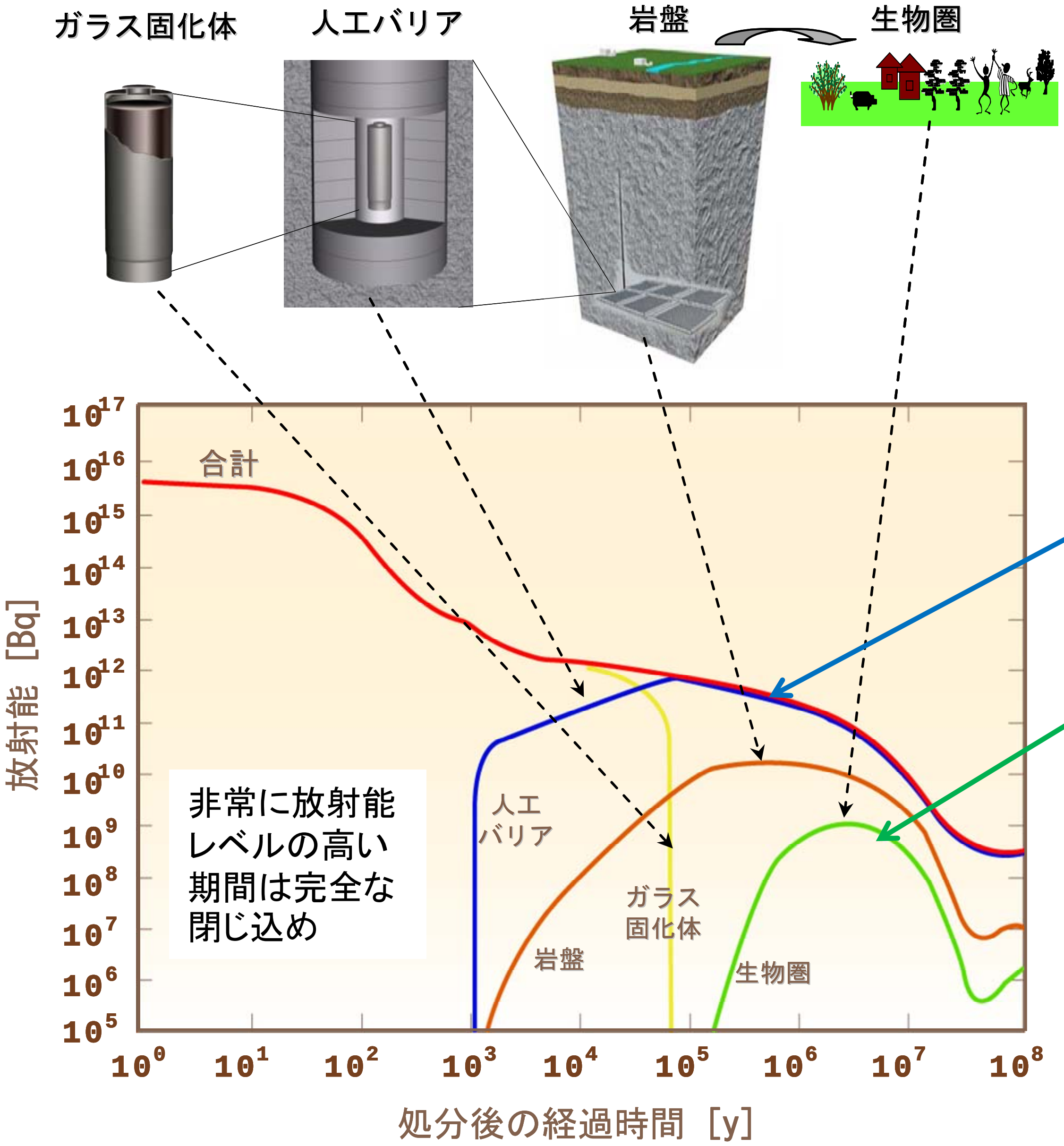


← 人工バリア →　← 天然バリア →　← 生物圏 →

ガラス固化体	オーバーパック	緩衝材	掘削影響領域　母岩（100m）	断層破砕帯（800m）	生物圏
放射性核種の溶解	沈殿／収着	拡散／収着	（均一混合）移流分散／収着	移流分散／収着	生物圏移行モデル
インベントリ評価	溶出率 溶解度	透水係数 拡散係数 収着分配係数	透水係数 実流速、分散係数 拡散係数 収着分配係数		希釈水量 移行係数 換算係数

均一混合

地層処分多重バリアシステムの閉じ込め性能



1. オーバーパックは千年で壊れる。
2. ガラス固化体は7万年かかって溶ける。
3. 放射性物質は溶解度に従って溶け出る。
4. 溶け出た放射性物質は地下水により運ばれる。

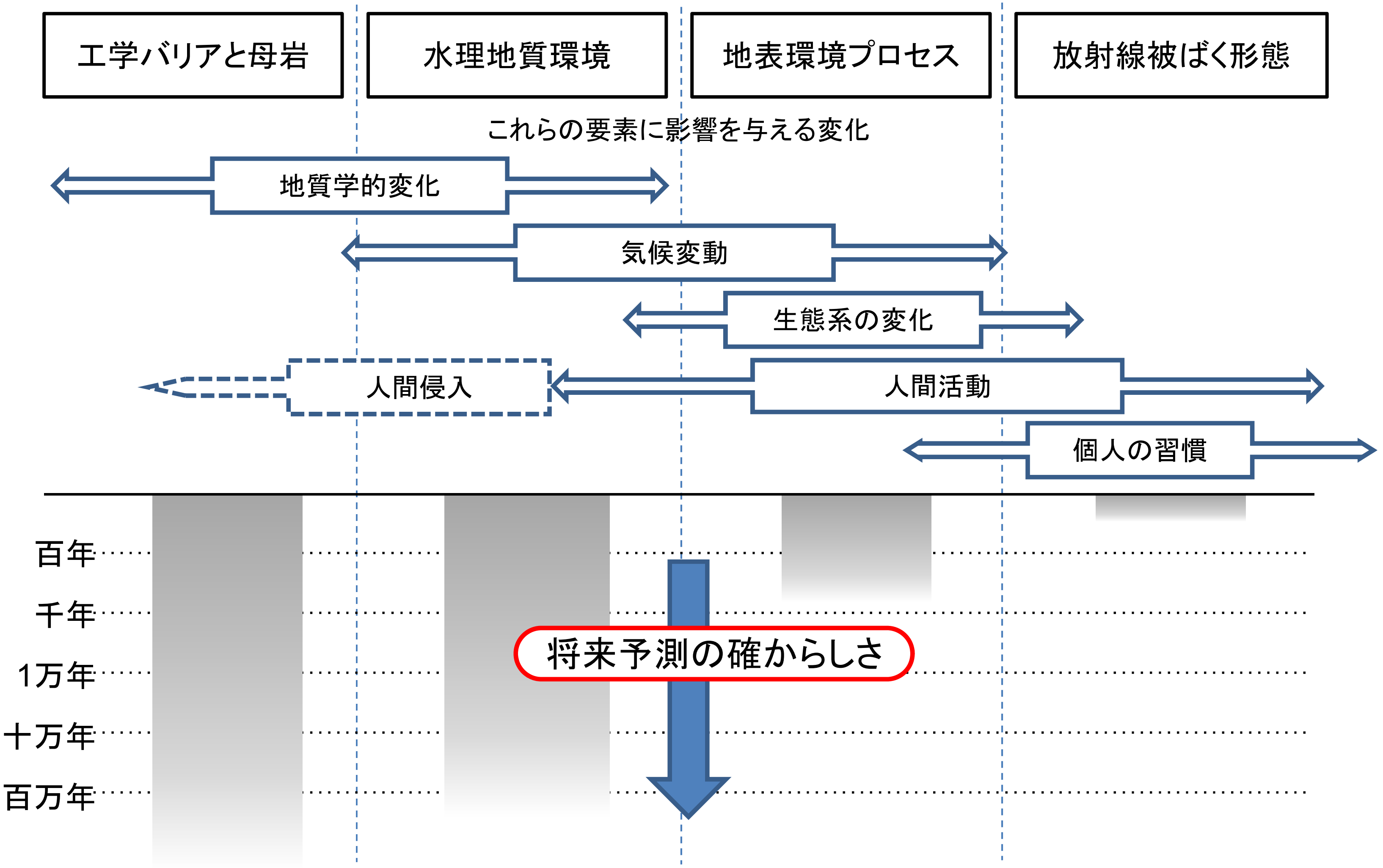
ほとんどが人工バリア内に留まっている

1. 一番多く生活環境に移るのは数十～百万年後で、処分時の数万分の1に減った放射能の1%以下
2. これによる被ばくは0.005 μSv/年

実質上完全な閉じ込めが達成され、将来の人の被ばくは無視できる程度となるという見通し

“Development of Repository Concepts for Volunteer Siting Environment” (NUMO-TR-04-03, 2004)より改変

廃棄物の遭遇する環境の変化の将来予測の確からしさ（時間軸と空間軸）



- 放射能インベントリ（核種の崩壊）：ほぼ永遠に正しく予測でき、時間とともに減少する
- 処分システムから生活圏に移行する放射能量：不確実ながら予測でき、時間とともに不確実さが増大する
- 生物圏における人の生活様式：数十～数百年以降はまったく予測できない

OECD/NEA, Considering Timescales in the Post-closure Safety of Geological Disposal of Radioactive Waste (2009)を改変

Safety case の概念

- 地層処分の安全評価が対象とする全時間・空間スケールに対して文字通りの実証は不可能（不確実性の増大)
- 安全評価（システムの安全レベルの定量化）だけでは十分な信頼性を提供できないー多様な証拠(multiple lines of evidence)による説明
- 段階的なアプローチ／意思決定による信頼構築の各段階においてsafety case を提示する

規制の要求

- 安全評価（システムの安全レベルの定量化）の結果の規準に対する遵守
- システムと安全評価の双方が十分な頑健性（robustness）を有すること
- 処分システムの時間的進展変化を十分理解していること

⇩

たとえば

- なぜこのシナリオでよいのか？
- なぜ他のシナリオ（地震の影響、微生物誘導腐食など）は除外してよいのか？
- なぜこれらのモデル、データでよいのか？
- 予測の蓋然性を支持する傍証（ナチュラルアナログ）。
- 残る不確実性にどう対処するのか？（accident management はできない）

日本の地層処分の技術的成立性

1. 火山や地震の多い変動帯にある日本で、地層処分システムの設置に適した安定な地質環境を見つけることができるか
2. 人工バリアや処分施設が、技術的にも経済的にも無理なく設計施工できるか
3. 構築された地層処分システム（地質環境、人工バリア）の長期にわたる性能を信頼性をもって評価すること（安全性を判断すること）ができるか

↓

- ◆ 技術的に成立するという十分な根拠がある
- ◆ 技術側から主張されている隔離・閉じ込め機能があれば、地層処分は科学技術的、倫理的に考えて最も適切な処分方法である
- ◆ 安全性の主張は、広範な分野の科学技術的知識の集約としてなされているため、専門家、非専門家のそれぞれが有する異なる程度の知識不足に起因する不確実性が残る

バックエンド週末基礎講座
2012年（平成24年）11月17日

放射性廃棄物処分の基本的考え方と課題

- 放射性廃棄物の発生とその性状、放射線の健康影響
- 低レベル廃棄物の浅地中処分、余裕深度処分
- 高レベル廃棄物、ＴＲＵ廃棄物の地層処分
- **放射性廃棄物の処分の社会における実施における課題**

（公財）原子力安全研究協会
放射線・廃棄物安全研究所
杤山　修

放射性廃棄物＝社会全体（現世代）が解決すべき問題

1. 放射性廃棄物は既に発生して存在している。
2. 発生により便益を受けたのは国民全員である。
3. 廃棄物の放射能レベルは長期にわたり高いままで、もたらされる危険は国民全員さらには将来世代に及ぶ。
4. 放射性廃棄物または潜在的リスクをゼロにする方法はない。

↓

解決策の検討：専門家が社会から付託された課題

↓

専門家の回答

1. 放射性廃棄物は固化し、安定な容器（オーバーパックと緩衝材）に封入し、安定な地質環境（深地層）に定置して、隔離と閉じ込めを確保する地層処分が最も好ましい方策である。
2. 安定な地質環境を見つけることができる見通しがある（技術的成立性がある）。
3. 安定な人工バリア、処分施設を設計施工できる見通しがある（技術的成立性がある）。
4. 構築される処分システムの隔離・閉じ込め性能は、十分な安全性を確保できる（安全＝受け入れられないリスクがないと判断できる）見通しがある。
   判断根拠：現在から将来にわたって生活環境にもたらされる放射線による健康影響が無視できるレベルである。

処分に与えられた課題

- 今までに経験のない空間枠（数百メートルの深さ、数平方キロメートルの広さの不均質な地下）と時間枠（閉鎖後の未来永劫）における処分システムの隔離と閉じ込めの安全性能を示す。
  - ✓ 公衆：日常の経験（地上の生活）とは異なる時間枠、空間枠
  - ✓ 自然科学：既存の自然科学者が得意とする時間枠、空間枠とは異なり、かつ注目するFEPごとに不均質な時間枠と空間枠
  - ✓ 社会科学：既存の社会科学の暗黙の了解としているものとは異なる時間枠、空間枠
    世代内倫理
    世代間倫理（制度の継続が見込まれる範囲、制度の継続も見込まれない範囲）

⇒　絶対の安全は示せない

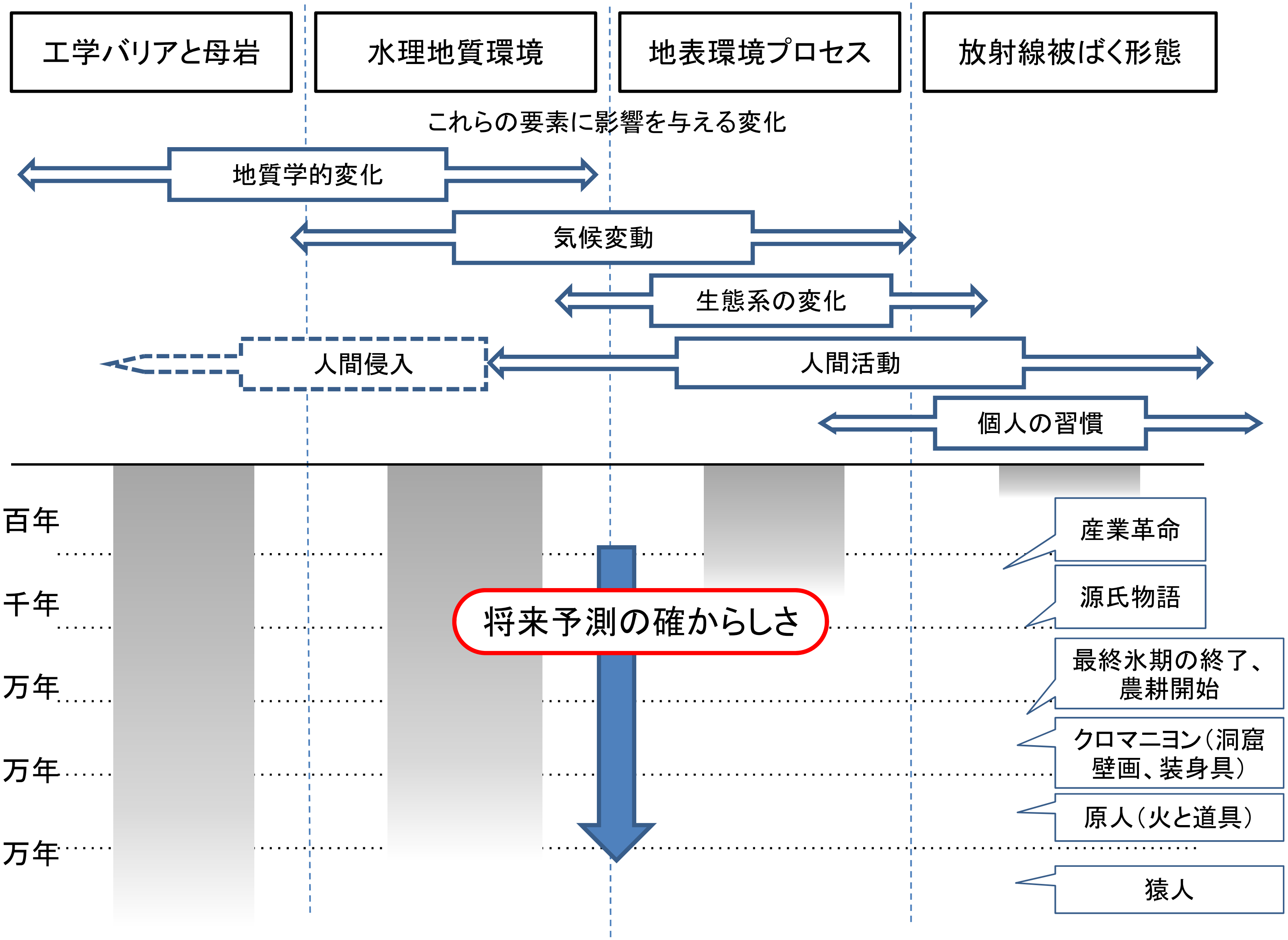
- 処分施設をどこか少数の特定の地域（だけ）に、社会及び地元の合意の下に実現する（集団の意思決定）

⇒　全員の合意は得られない

ミッション＝実践的に解決すること（不確実性下の意思決定）

廃棄物の遭遇する環境の変化の将来予測の確からしさ（時間軸と空間軸）

予測はもっぱら科学に依存：物事により関係や法則が変化する。
関係や法則は、人々の日常経験、既存の科学の知識とは異なっている。



反対する市民はどう考えているか

処分反対

1. 地下の様子は知ることができず、遠い将来は予測できないので、安全は確保できない。安全な処分法がない（将来世代に負担を残す）廃棄物を発生する原子力利用をやめるべき。
2. 勝手に原子力政策を推し進めて発生させた廃棄物を国と電力が地域に押し付ける地層処分に反対する。

受け入れ反対

1. 今回の事故は、原子力村の人々が、もともと人間が扱いきれない原子力に手を出して、原子力を推進することを優先して、国民の安全をないがしろにしたためである。
2. 地層処分は、その人々がやろうとしている。名前だって原子力発電環境整備機構だ。原子力発電を推進するのが大事なんだろう。
3. いくら国民全体の責任、国民全体の安全といわれても、やることが本当に国民のためになるのか信用できない。どこかに廃棄物を押しつけることによって、自分たちの厄介ものを“処分”しようとしているのではないか。君子危うきに近寄らず。うちにだけはきてくれるな。

原子力、放射性廃棄物処分に対するステークホルダーの信頼

B. Barber の信頼の定義と分類

1. 能力に対する期待としての信頼:
   社会関係や社会制度の中で出会う相手が、役割を遂行する能力を持っているという期待。
2. 意図に対する期待としての信頼:
   相互作用の相手が信託された責務と責任を果たすこと、またそのためには、場合によっては自分の利益よりも他者の利益を尊重しなければならないという義務を果たすことに対する期待。

B. Barber: The logic and limit of trust, New Brunswick, Rutgers University Press (1983)
山岸俊男:信頼の構造ー心と社会の進化ゲーム(東京大学出版会,1998)

ステークホルダーの懸念

1. 地下の様子は知ることができず、遠い将来は予測できないので、安全は確保できない。安全な処分法がない(将来世代に負担を残す)廃棄物を発生する原子力利用をやめるべき。
2. 勝手に原子力政策を推し進めて発生させた廃棄物を国と電力が地域に押し付ける地層処分に反対する。

1. 今回の事故は、原子力村の人々が、もともと人間が扱いきれない原子力に手を出して、原子力を推進することを優先して、国民の安全をないがしろにしたためである。
2. 地層処分は、その人々がやろうとしている。名前だって原子力発電環境整備機構だ。原子力発電を推進するのが大事なんだろう。
3. いくら国民全体の責任、国民全体の安全といわれても、やることが本当に国民のためになるのか信用できない。どこかに廃棄物を押しつけることによって、自分たちの厄介ものを"処分"しようとしているのではないか。君子危うきに近寄らず。うちにだけはきてくれるな。

技術的能力に対する不信　　意図に対する不信

能力と意図に対する信頼(中谷内一也「安全。でも、安心できない…—信頼をめぐる心理学」)

懸念の背景：分業化社会におけるリスク

社会＝分業による協働（善意による助け合い）

分業化社会における市民

- サービス提供者としての市民（特定少数）＝他者が必要とするサービス（技術）を提供
- 消費者としての市民（不特定多数）＝自らが必要とするサービス（技術）を他の提供者から受容

サービス（自然の脅威などの本来のリスクからの防護、便益の提供）と対価を交換する

⇩

サービスにはリスクが付随する＊

- 技術（本来のリスクの防止）の有効性の限界
- サービス（技術）がもたらすリスク（副作用）（事故、廃棄物、環境汚染）

⇩

消費者の安全

- 消費者は、本来のリスクから守られ、サービス（技術）に付随するリスクに向き合う（高度に分業化された社会では、このようなリスクだけが消費者には見える）
- 公共的サービスでは、便益は社会全体、リスクは市民の限られた一部に分配される。
- 消費者の安全は、サービス提供者の技術的能力、意図（安全を優先するかどうか）にかかっている。

＊中谷内一也：安全。でも、安心できない・・・ー信頼をめぐる心理学（ちくま新書, 2008）

分業化社会におけるサービス提供者と消費者の取引におけるリスク
情報の非対称性(安全の多義性)

サービス提供者

- **技術的能力に関する不確実性**
  - ✓ 科学技術の限界と科学技術者の限界
  - ✓ ⇒ 安全の判断:人は不完全で将来を言い当てることはできない(知識の限界)ため間違う可能性がある。ここまで備えていればよいだろう =これ以上は手抜きしてよいだろう(不確実)。
    → 技術的能力の限界か意図的か
- **意図に対する不確実性**
  - ✓ 経済学では、取引に関わる売り手と買い手が保有する情報に差があるとき、その不均等な情報構造を情報の非対称性 (asymmetric information) と呼ぶ。
  - ✓ 情報の非対称性が存在する状況では、情報優位者(保持している情報量が多い売り手)は情報劣位者(保持している情報量が少ない買い手)の無知につけ込み、粗悪な財やサービスを良質な財やサービスと称して提供したり、都合の悪い情報を隠して利益を得ようとするインセンティブ(エージェンシー・スラック)が働く。
  - ✓ そのため、情報劣位者はその財やサービスに対して、本来の価値より過度に悲観的な予想を抱くことになり、良質な材やサービスが流通されにくくなる。

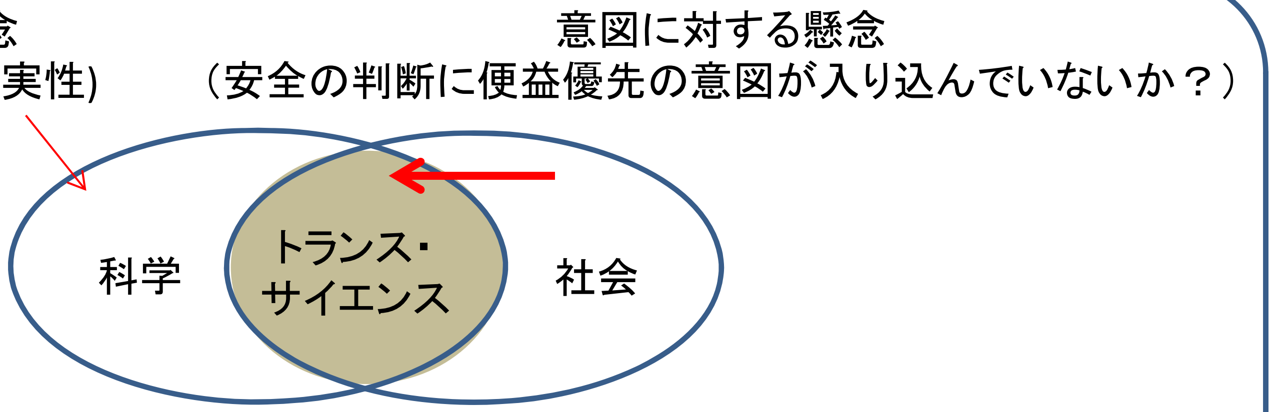
⇩

消費者

- **技術的能力と意図(インセンティブ)に対する不確実性は区別できない=不安**
  能力の限界がどこにあるのか、手抜きをしているかどうかわからない。

G. A. Akerlof: The Market for ‘Lemons’: Quality Uncertainty and the Market Mechanism, Quarterly Journal of Economics, 84, 488-500 (1970) (Lemon = (米俗語)隠された故障のある中古車)

分業化社会におけるサービス提供者と消費者の取り引きにおけるリスク



技術的能力と意図（インセンティブ）に対する不確実性は区別できない

能力の限界で失敗したのか、手抜きで失敗したのかわからない。

消費者：情報劣位者

ゼロリスクが達成できると思い込む

安全に対する努力（責任）は情報優位者であるサービス提供者に委ねる。
＝ゼロリスクの約束、安全神話
（究極的な信頼は、サービス提供者が責任を取るという約束により担保される）

- 情報優位者（サービス提供者）のエージェンシー・スラック回避のために必要。

しかし、避けられないリスクについては

- 消費者はリスクゼロで財やサービスを得る形になる。
  危害が第三者に及んだとき、その責任の所在があいまいになる。
- リスクを賭けてサービスを提供するものには不利。

分業化社会におけるサービス提供者と消費者の取り引き：ゼロリスクの錯覚

分業化、流通、公共的福祉、科学技術の高度化

- 多くのサービスによる便益は公共的インフラストラクチャーとして社会の成員にとって生来の権利と受け取られるようになる。科学技術への依存が過大になる。⇒安全だと言ってくれ、安心するから。
- サービスによる便益とリスクの結びつきが希薄となる。
- リスクゼロが本来の状態だと錯覚する。
- リスクをもたらすサービスがなくても、何らかの代替により公共的インフラストラクチャーは揺るがない（社会の進歩とともに良くなる）と錯覚する。
- 便益の対価としてのリスクを忌避して責任を負わない
  NIMBY　＝　Not In My Backyard　（施設の必要性は認めるが、自らの居住地域には建てないでくれ」と主張する住民たちや、その態度）
  フリーライダー ＝ 活動に必要なコストを負担せず利益だけを受ける人。

⇩

全てのリスクの責任はサービス提供者にあり、
失敗（リスクの顕在化）の原因は全てモラルハザードと解釈する
（Fundamental attribution error：根本的な帰属の誤り） **⇒怒り（誤り、しかし本物！）**

不信社会の形成⇒討議における感情の支配

不信関係の克服（信頼関係の構築）にむけて

分業化と流通の高度化
消費者と生産の現場とのつながりが希薄化

⇩

不確実性の扱いに失敗して、分業化社会（善意の助け合い）の精神が忘れられ、不信から生じる「疑い合う競争社会」の精神になっている

これが現実！

⇩

ハイリスクハイリターンなどのサービス

- 取扱説明書、保証規定
- 医療：パターナリズム（家父長主義）から
  ⇒ インフォームド・コンセント（説明と同意）
  ⇒ インフォームド・チョイス（説明と選択）

⇒ （不確実性が小さい、便益とリスクを受ける人が同じ）

□ 公共的サービス（BSE, 遺伝子改変、薬害、予防注射他）
  ⇒ トランスサイエンス、コンセンサス会議（市民パネル）*

Informed and comparative judgment
（正しい情報を得たうえで、選択として意思決定する）

* 小林傳司：トランス・サイエンスの時代—科学技術と社会をつなぐ（NTT出版, 2007）

DAD(Decide, announce and defend)アプローチの問題点

放射性廃棄物＝社会全体（現世代）が解決すべき問題

1. 放射性廃棄物は既に発生して存在している。
2. 発生により便益を受けたのは国民全員である。
3. 廃棄物の放射能レベルは長期にわたり高いままで、もたらされる危険は国民全員さらには将来世代に及ぶ。
4. 放射性廃棄物または潜在的リスクをゼロにする方法はない。

↓

科学技術者への付託

現世代および将来世代へのリスクが最も小さくなる、実行可能な最善の方法は何か。

↓

地層処分が最善で、実現の見通しがある

↓

行政の意思決定：地層処分事業の実施

↓

実施主体（NUMO）に付託

↓

DAD(Decide, announce and defend)

ブラックボックスに近い

↓

- **能力に対する懸念（知識不足による不確実性）**
- **意図に対する懸念（安全の判断に便益優先の意図が入り込んでいないか？）**

- 関係者なのに、選択／意思決定の権利がない
- 社会全体の問題としての意識が共有できない
- 選択でないので、解決策の欠点ばかりに目が行く（ゼロリスクの要求）
- 厄介な問題の原因（廃棄物発生元）への嫌悪
  廃棄物発生者の責任追及

情緒が入り込む

↓

ブラックボックスになっている選択（社会の意思決定）を「社会（公共）」と共有する

分業化社会におけるリスク：感情に流されない公共的討議へ

何らかのサービスの提供の意図が、より大きいリスクの回避であったとしても、この行為でもたらされる新たなリスクに対する直接の責任はサービス提供者にあり、便益を受ける消費者には間接的責任がある。（技術は社会に対する万能でない奉仕者）

- 公共事業では、リスクをもたらす加害者として行政が存在し、リスクを分配される市民が存在する。ただし行政は市民を代表しているもので、市民とは別物ではない。市民はリスクをもたらす加害者でもある。
- 公共事業の便益を受ける者は全ての市民であり、市民の間のリスクの分配は分業化社会における協働として避けることのできないもの（誰かが負担しなければならないもの）で、負担の公平をどのように達成する（社会的合理性）が問題となるものである。
- すなわち、これは社会の上部構造－下部構造の間の不当なリスクの押し付け合いの問題（直観的な情緒により判断すべき問題）ではなく、全ての市民を含む社会が抱えている課題の実践的解決（協働）の問題である。

廃棄物の処分＝**分業化された社会における協働（助け合いの心）**によって**社会が**解決すべき問題
科学技術者はリスクをできる限り小さくして、誰かが分業として引き受けることのできるようにする

ステークホルダー（事業に関係していて関心を持つ人すべて）間の**信頼関係の構築**

理性に基づく熟議による正義の追求：アマルティア・セン：正義のアイデア (明石書店(2011)）

不信関係にあるステークホルダー間の信頼関係の構築

インセンティブ（誘因）の共有、ステークホルダーの参加の促進

- 原子力を推進するために、自分たちが抱えている厄介な廃棄物を、貧乏で困っている地域に、金で釣って適当に押し付けようとしている。
- 原子力推進（原子力発電環境の整備）、廃棄物にけりをつけること（"処分"の誤解された解釈）を優先して、住民と環境の安全が損なわれる。

放射性廃棄物に対する責任

- 廃棄物発生者：原子力発電によりサービスを提供した発電事業者が直接的責任を負う。
- 消費者：電気を使って便益を得た国民は間接的責任を負う。

  ⇒ 電力料金に含めて廃棄物処分に係る費用を発電事業者が徴収し、処分のために積み立てる。
- 世代内では、電気事業者がサービス提供者として責任を負っているが、消費者は間接的責任（世代としての責任）を免れているわけではない。
- サービス提供者が利益を得ようとした結果廃棄物が出たのであり、全ての責任はサービス提供者にあるとして、電気事業者に管理責任を負わせて当面よしとするのは、現世代の消費者のエゴイズムであり、世代間の関係としては、次世代に廃棄物問題を先送りする非倫理的行為。

不信関係にあるステークホルダー間の信頼関係の構築

インセンティブ（誘因）の共有、ステークホルダーの参加の促進

最も大事で最も難しい問題：出発点の共有

- たとえ、どのような動機であろうとも、既に存在している放射性廃棄物を安全に処分することを、原子力推進、反対の両者がいる現世代の社会の共通の目標とする。
- 市民にとっては、あまり信用ならないが、原子力村が直接の廃棄物発生者としての責任を果たすといって企図している処分事業に協力するのがよいか、あくまで反対して、原子力村を困らし、廃棄物を負の遺産にするのがよいか**冷静に**判断してもらう。

信頼関係構築を事業推進における制度、仕組みとして具体化する

- この意図を信頼してもらうには、推進、反対を問わず、関係のあるステークホルダーが、プロセスの意思決定に参加することが必要（事業主体は地元を対等のパートナーとしてその能動的立場を認めることが必要）。
- 今後子孫代々共存することになる廃棄物を受け入れるには、事業の推進、中止、後戻り等々の意思決定に参画して、コントロールでき、地域の発展につなげることができる権限が与えられなければ、安心して受け入れなどできない。

Stakeholder Involvement
DAD(Decide, announce and defend) から Engage, interact and co-operate へ

- 受け入れ地域は処分事業を一緒にやっていくというパートナー
  どのようなパートナーシップを構築しようとしているのか。
- 受け入れた地域は将来どうなると考えているのか。
- 地層処分は本当に社会の役に立つと思っているのか。
  正当化(地層処分の倫理はどうなっているのか、科学技術がもたらすリスクは正当化できるのか)。
- 不確実性(科学的、社会的)はどこにどのくらいありどう対処するのか。
  科学技術も科学技術者も間違うことがある。「間違っていたらどうするのか」という問いに応える(特に事業をどう進めるのか:サイト選定、reversibility, stepwise approach, 誰がどの時点で何を意思決定するのかなど)。
- 専門家と非専門家(公衆、他分野の専門家)の間の情報の非対称性の存在下では、不確実性領域の推定に、各人が持っている知識と経験がヒューリスティック(経験則)として用いられることを認識して、コミュニケーションを図る。
- Informed and comparative judgment(正しい情報を得たうえでの、**選択としての意思決定**)を目指す。

参考となる、地層処分に関する国際的な勧告（代表的なもの）

- 選択を迫られた時の世代間倫理：
  米国NAPA “Deciding for the Future: Balancing Risks, Costs, and Benefits Fairly Across Generations” (1997)
- 地上管理か地層処分か：
  米国NAS “Disposition of HLW and SNF—The Continuing Social and Technical Challenges” (2001)
- 不確実性に対して、事業としてどう立ち向かうか：
  米国NAS ”One Step at a Time—The staged Development of Geological Disposal for HLW” (2003)
- 安全原則、安全基準の論拠：
  “Principles and Standards for Disposal of Long-Lived Radioactive Wastes”, N. Chapman and C. McCombie (2003)
- ステークホルダーの関与の促進：
  OECD/NEA” Geological Disposal of Radioactive Waste: National Commitment, Local and Regional Involvement (2012)

処分の専門家が取り組むべき問題（他に誰もやってくれない）

- 今までに経験のない空間枠（数百メートルの深さ、数平方キロメートルの広さの不均質な地下）と時間枠（閉鎖後の未来永劫）における処分システムの隔離と閉じ込めの安全性能を示す。
- 処分施設をどこか少数の特定の地域（だけ）に、社会及び地元の合意の下に実現する（集団の意思決定）

地層処分は実践問題

狭い専門の蛸壷から飛び出せ

相手のいる問題として実践的に解決する

- 地層処分問題の解決のために既存の知識を適用する（地層処分の問題の**空間枠、時間枠に既存の知識を外挿する**）
- 他分野の専門家は、違う空間枠、時間枠で生きてきた人なので、直接答えを聞こうとしても、何が分からないのか分かりませんと言っているのと同じ

- 地層処分の問題の空間枠、時間枠を知っている処分の専門家が、まず、どのような既存の知識を使えばよいかを学ぶ必要がある。［今までやってこなかった］
- ステークホルダー参加の仕組みの構築（信頼関係の構築）を、進展段階に応じて、実践しながら一歩ずつ前進する。［今までやってこなかった］